Ministerrat der Deutschen Demokratischen Republik
Ministerium für Volksbildung

Plan für den fakultativen mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht in der Erweiterten Oberschule

Lehrgang Klassische Physik

V
W Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin • 1986
V

2. Auflage
Ausgabe 1984
Lizenz Nr. 203/1000/86 (UN 02 30 22-2)
LSV 0670
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: Druckerei Schweriner Volkszeitung
Bestellnummer: 709 045 3
00090

Der Plan für den fakultativen
mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht
in der Erweiterten Oberschule
Lehrgang Klassische Physik
tritt am 1. September 1984 in Kraft.

Berlin, September 1983

Parr
Stellvertreter des Ministers
für Volksbildung

Berichtigungszettel

zum Titel 02 30 22-2 Plan für den fakultativen mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht in der Erweiterten Oberschule

Lehrgang Klassische Physik

Auf der Seite 45 muß es richtig heißen:

$$\Delta x = \frac{1{,}22 \cdot \lambda}{2\,n \cdot \sin u}$$

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Ziele und Aufgaben	5
Hinweise zur methodischen und organisatorischen Gestaltung des fakultativen Unterrichts	6
Stoffübersicht	8
Teillehrgang 1: Akustik	10
Teillehrgang 2: Kräfte in der Mechanik	20
Teillehrgang 3: Mechanik der strömenden Flüssigkeiten und Gase	28
Teillehrgang 4: Optik	40
Teillehrgang 5: Elektrizitätslehre	51
Ausstattungsplan für Unterrichtsmittel	64

Ziele und Aufgaben

Der Lehrgang Klassische Physik baut auf dem Wissen und Können der Schüler aus dem obligatorischen Physikunterricht der Klassen 6 bis 10 auf. Er ermöglicht ihnen, in Teilgebiete der klassischen Physik tiefer einzudringen, das Verständnis für physikalische Zusammenhänge auszubauen, ihr Wissen zu festigen und zu systematisieren sowie auf neue Sachverhalte anzuwenden.
Durch die Anwendung physikalischer Gesetze vertiefen die Schüler die Einsicht, daß die klassische Physik wesentliche Grundlagen für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt bietet.
Die Schüler werden befähigt, ihr mathematisches Wissen und Können zur quantitativen Durchdringung physikalischer Sachverhalte und zur Lösung von Problemen aus Anwendungsbereichen der Physik schöpferisch anzuwenden. Sie sollen in der Lage sein, theoretisch ermittelte Größen experimentell zu überprüfen und die erforderlichen Experimente selbständig zu planen und durchzuführen. Die enge Verbindung von geistiger und geistig-praktischer Tätigkeit bietet Möglichkeiten, die Fähigkeiten der Schüler zum genauen Beobachten und Beschreiben von Vorgängen sowie zum Ableiten theoretischer Verallgemeinerungen aus experimentellen Fakten weiterzuentwickeln.
Im Lehrgang werden die Bereitschaft und das Können der Schüler gefördert, sich neues Wissen unter Verwendung geeigneter Literatur selbständig anzueignen und sich in Vorträgen zu einzelnen Themen zusammenhängend und auf das Wesentliche konzentriert zu äußern. Der Lehrgang bietet gute Möglichkeiten, weltanschaulich-philosophische Grundüberzeugungen und die Einsicht der Schüler in die Bedeutung der Physik für den militärischen Schutz des Sozialismus zu vertiefen. Ihnen ist die Bedeutung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts für den notwendigen Leistungsanstieg in der Volkswirtschaft und damit für die weitere Entwicklung des Sozialismus bewußtzumachen. Die Schüler sind anzuhalten, bei experimentellen Arbeiten im Kollektiv zu arbeiten, Sauberkeit am Arbeitsplatz zu halten, sorgfältig mit Arbeitsmitteln umzugehen und Ergebnisse kritisch einzuschätzen.

Hinweise zur methodischen und organisatorischen Gestaltung des fakultativen Unterrichts

Im gesamten Lehrgang nimmt die Entwicklung schöpferischer Fähigkeiten der Schüler einen hohen Stellenwert ein. Dafür kommt vor allem der selbständigen Planung und Durchführung von Experimenten wesentliche Bedeutung zu.
Bei der mathematischen Durchdringung des Stoffes, insbesondere bei der Herleitung von Gleichungen und dem Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben, ist zu sichern, daß die Schüler den physikalischen Inhalt gründlich erfassen.
Durch eine problemhafte Unterrichtsgestaltung sollen die Aktivität und das Interesse der Schüler an Teilgebieten der Physik und für deren Anwendungsgebiete in Technik und Produktion gefördert werden. Für diese Unterrichtsgestaltung, die auf hohe Selbständigkeit der Schüler orientiert, muß ausreichend Unterrichtszeit vorgesehen werden.
Aufgabenstellungen sollten auch differenziert, dem Leistungsvermögen einzelner Schüler oder Schülergruppen angepaßt, erteilt werden.
Im Lehrgang Klassische Physik werden fünf Teillehrgänge zu je 25 Stunden zur Auswahl angeboten. Jeder Teillehrgang ist in sich abgeschlossen. Die Teillehrgänge "Akustik", "Kräfte in der Mechanik", "Mechanik der strömenden Flüssigkeiten und Gase" sowie "Elektrizitätslehre" erfordern keine Vorleistungen aus dem Unterricht in der Abiturstufe. Sie können deshalb sowohl in Klasse 11 als auch in Klasse 12 behandelt werden. Der Teillehrgang "Optik" baut auf den Vorleistungen aus dem Stoffgebiet "Optik" in Klasse 11 auf. Er kann deshalb nur in den letzten 13 Wochen in Klasse 11 oder in Klasse 12 behandelt werden. Wieviel der angebotenen fünf Teillehrgänge gewählt werden, hängt von den Gegebenheiten an den einzelnen Schulen ab.
Die Stundenzahlen innerhalb der Teillehrgänge sind Empfehlungen. Die ausgewiesenen Schülertätigkeiten stellen eine Auswahl dar, wobei anzustreben ist, die angegebenen Experimente möglichst vollständig durchzuführen.
Bei allen experimentellen Arbeiten sind die gültigen Bestimmungen zum Gesundheits- und Arbeitsschutz sowie Brandschutz im natur-

wissenschaftlichen Unterricht und in der außerunterrichtlichen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften[1] einzuhalten.

Die methodischen Hinweise besitzen nur empfehlenden Charakter. Lehrerliteratur ist mit L, Schülerliteratur mit S gekennzeichnet.

1 Anweisung Nr. 2/84 vom 1. Februar 1984 zum Gesundheits- und Arbeitsschutz sowie Brandschutz im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der außerunterrichtlichen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften (VuM Nr. 2/84) in der Fassung der 2. Anweisung vom 12. September 1984 (VuM Nr. 8/84).

Stoffübersicht

Gesamtstundenzahl für den Lehrgang	125 Stunden
Teillehrgang 1	**25 Stunden**
Akustik	
1. Einführung	1 Stunde
2. Schallerzeugung mit schwingenden festen Körpern	5 Stunden
3. Schallerzeugung und Schallausbreitung in Luft	6 Stunden
4. Schallmessung	8 Stunden
5. Anwendungen	5 Stunden
Teillehrgang 2	**25 Stunden**
Kräfte in der Mechanik	
1. Einführung	1 Stunde
2. Addition und Zerlegung von Kräften	8 Stunden
3. Gleichgewicht und Standfestigkeit	8 Stunden
4. Reibung	8 Stunden
Teillehrgang 3	**25 Stunden**
Mechanik der strömenden Flüssigkeiten und Gase	
1. Einführung	2 Stunden
2. Strömungsvorgänge in idealen Flüssigkeiten und Gasen	8 Stunden
3. Laminare Strömung realer Flüssigkeiten und Gase	5 Stunden
4. Turbulente Strömung realer Flüssigkeiten und Gase	4 Stunden
5. Strömungsvorgänge am Flugzeug	6 Stunden
Teillehrgang 4	**25 Stunden**
Optik	
1. Vergrößerung und Auflösungsvermögen optischer Geräte	15 Stunden
1.1. Einführung; Grundlagen optischer Abbildungen durch Linsen	(5 Stunden)

1.2. Vergrößerung des Sehwinkels durch optische Geräte	(5 Stunden)
1.3. Auflösungsvermögen optischer Geräte	(5 Stunden)
2. Interferenz des Lichtes durch Reflexion	4 Stunden
3. Polarisation des Lichtes	6 Stunden

Teillehrgang 5	25 Stunden
Elektrizitätslehre	
1. Einführung	2 Stunden
2. Elektrische Ladungen im Vakuum	5 Stunden
3. Elektrische Ladungen auf Leitern	4 Stunden
4. Dielektrische Eigenschaften der Stoffe	4 Stunden
5. Der geschlossene Gleichstromkreis	5 Stunden
6. Anwendungen der Grundgesetze des Gleichstromkreises	5 Stunden

Teillehrgang 1

Akustik

Stoffübersicht

1. Einführung	1 Stunde
2. Schallerzeugung mit schwingenden festen Körpern	5 Stunden
3. Schallerzeugung und Schallausbreitung in Luft	6 Stunden
4. Schallmessung	8 Stunden
5. Anwendungen	5 Stunden

Vorbemerkungen

In diesem Teillehrgang wird das Wissen und Können der Schüler über Schwingungen und Wellen aus dem obligatorischen Physikunterricht der Klasse 10 gefestigt und auf die Akustik angewandt. Die Schüler erhalten einen Einblick in Grundlagen der Schallerzeugung, des Hörens sowie in technische Probleme und Anwendungen der Schallausbreitung auch im Bereich des Ultraschalls. Dabei sind die vielfältigen Möglichkeiten zu nutzen, den polytechnischen Gesichtskreis der Schüler zu erweitern.
Zur Motivierung der Schüler wird ein Überblick über die Entwicklung, die Teilbereiche und die Aufgaben der Akustik gegeben.

Am Beispiel der Schallerzeugung mit schwingenden Stäben und Saiten werden Zusammenhänge zwischen Frequenzen und Eigenschaften der Stäbe und Saiten erarbeitet. Anschließend lernen die Schüler Vorgänge in Saiteninstrumenten (Grund- und Oberschwingungen, Resonanz) kennen.
Die Schallausbreitung in Luft wird ausführlich behandelt. Dabei wird der Doppler-Effekt behandelt. Es ist darauf einzugehen, daß der Doppler-Effekt auch in anderen Bereichen der Physik und in der Astronomie bedeutungsvoll ist.
Die Definition einiger Schallfeldgrößen dient dem besseren Verständnis akustischer Vorgänge und deren Anwendung. Anhand von Berechnungen und experimentellen Untersuchungen werden die Feldgrößen anschaulich erarbeitet. Der Zusammenhang zwischen objektiven und subjektiven Erscheinungen in der Akustik wird ausgehend

von den physikalischen und biologischen Vorgängen des Hörens durch die Definition des Schallpegels und der Lautstärke gekennzeichnet. Den Schülern soll bewußt werden, wie sich eine Änderung der Schallstärke auf die Lautstärke auswirkt. Sie sollen auch erkennen, daß durch häufige Schalleinwirkungen hoher Lautstärke die Reizschwelle beim Hören verändert wird und gesundheitliche Schäden entstehen. Auf Fragen des Arbeitsschutzes ist dabei einzugehen.
Aus den Teilgebieten der Akustik sollten einige praktische Anwendungen ausführlicher behandelt werden. Das gilt insbesondere für die Anwendungen des Ultraschalls.

Inhalt des Lehrgangs

1. Einführung

- Oberblick über Entwicklung, Teilbereiche, Aufgaben und Bedeutung der Akustik
  - Musikinstrumente
  - Schallaufzeichnungen
  - Bau- und Raumakustik
  - Ultraschall und seine Anwendungen

Methodische Hinweise

Dieser Abschnitt dient der Zielorientierung und Motivation. In einem einführenden Lehrervortrag mit Demonstrationsexperimenten erhalten die Schüler einen Überblick über Entwicklung, Teilbereiche, Aufgaben und Bedeutung der Akustik /1/ /2/ /10 /11/.

Die Demonstration der unterschiedlichen Wiedergabequalität von Lautsprechern soll auf technische Probleme hinweisen /10/ /11/. Der Einfluß verschiedener Werkstoffe auf die Schallausbreitung demonstriert Möglichkeiten der Bauakustik /5/ /12/. Alle Demonstrationsexperimente sollen das Interesse der Schüler wecken. In einer anschließenden Diskussion können Problemstellungen aufgeworfen werden, die im Verlaufe des Teillehrgangs bearbeitet werden.

2. Schallerzeugung mit schwingenden festen Körpern

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Schwingung, Welle, Kenngrößen von Schwingung und Welle (Amplitude, Frequenz, Phase, Geschwindigkeit, Wellenlänge)

- Wiederholung der Grundbegriffe am Beispiel des Schalls
- Longitudinal- und Transversalwelle
- Schallerzeugung mit longitudinal schwingenden Stäben
- Schallerzeugung mit transversal schwingenden Saiten, Grundschwingung einer Saite
- Abhängigkeit der Frequenz der Grundschwingung von der Spannkraft, der Querschnittsfläche und der Länge einer Saite
- Frequenz einer schwingenden Saite

$$f = \frac{1}{2l} \cdot \sqrt{\frac{F}{A \cdot \rho}}$$

- Resonanz, Resonanzkörper bei Streichinstrumenten
- Klang von Streichinstrumenten, Grund- und Obertöne

Schülertätigkeiten

- Experimentelles Untersuchen des Zusammenhangs zwischen der Stablänge und der Tonhöhe (halbquantitativ)
- Experimentelles Untersuchen der Abhängigkeit der Frequenz der Grundschwingung einer Saite von der Spannkraft, der Querschnittsfläche und der Länge (halbquantitativ)
- Interpretieren der Gleichung für die Frequenz einer schwingenden Saite
- Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben zur Anwendung der Gleichung für die Frequenz einer schwingenden Saite
- Referieren zum Thema:
  "Unterschiedlicher Klang von Streichinstrumenten" /1/ /13/
- Grafisches Addieren der Auslenkung bei Grund- und Oberschwingungen zur Auslenkung bei resultierenden Schwingungen

Methodische Hinweise

Im einführenden Demonstrationsexperiment wird die Schwingung einer Stimmgabel sichtbar gemacht (mit Schreibspitze) /5/.
An diesem Beispiel wird der Zusammenhang zwischen der Schwingung der Stimmgabel und der damit verbundenen Ausbreitung von

Schallwellen in Luft dargestellt. Die Kenngrößen von Schwingung und Welle sowie die Gleichung zur Ausbreitungsgeschwindigkeit werden wiederholt /7/ /8/. Die Begriffe Transversal- und Longitudinalwelle werden mit Hilfe eines Modellexperiments eingeführt. In einem Experiment untersuchen die Schüler selbständig den Zusammenhang zwischen Länge und Frequenz eines longitudinal schwingenden Stabes /5/. Die Frequenzmessung erfolgt durch den Vergleich mit Kontrollfrequenzen (Stimmgabeln, Universalgenerator).

Der Begriff "Grundschwingung" wird am Beispiel einer schwingenden Saite eingeführt /1/ /2/ /3/. Die Schüler untersuchen selbständig die Abhängigkeit der Frequenz einer Grundschwingung von der Spannkraft, der Querschnittsfläche und der Länge einer Saite /5/. Nach der Diskussion der Ergebnisse der Experimente ist die Gleichung für die Berechnung der Frequenz vom Lehrer zu geben /4/.

Durch das Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben werden die experimentell erarbeiteten Zusammenhänge gefestigt /6/. Die Resonanz wird an einer Stimmgabel mit Resonanzboden demonstriert und durch die Schüler erklärt /5/. Der Lehrer weist auf die Schwierigkeit bei der Schallverstärkung durch Resonanzböden hin.

In einem Schülervortrag wird das Zustandekommen des Klanges einzelner Streich- und Zupfinstrumente erläutert. Möglichkeiten der Demonstration werden dabei genutzt.
Im Zusammenhang mit dem Klang werden Grund- und Oberschwingungen von Saiten betrachtet und oszillographisch dargestellt /5/. Die Behandlung der Addition der Auslenkung von Grund- und Oberschwingungen soll dazu dienen, die beobachteten Oszillogramme besser zu verstehen.

3. Schallerzeugung und Schallausbreitung in Luft

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz mechanischer Wellen, Ausbreitungsgeschwindigkeit

- Reflexion, Beugung und Interferenz von Schallwellen
- Schallerzeugung in Luftsäulen, offene und gedeckte Pfeifen
- Stehende Wellen
- Abhängigkeit der Frequenz der Schallwellen von der Länge der Luftsäule

. offene Pfeife $f = \frac{c}{2l}$

. gedeckte Pfeife $f = \frac{c}{4l}$

- Verfahren zur Bestimmung von Schallgeschwindigkeiten
  . Kundtsches Rohr
  . Laufzeitmessung
- Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls in Abhängigkeit von Eigenschaften des Mediums (fest, flüssig, gasförmig)
- Doppler-Effekt bei Schallwellen

$$f_E = f_S \frac{c - v_E}{c - v_S}$$

c ... Schallgeschwindigkeit
f_E ... vom Empfänger aufgenommene Frequenz
f_S ... vom Sender abgestrahlte Frequenz
v_E ... Geschwindigkeit des Empfängers
v_S ... Geschwindigkeit des Senders

- Kopfwellen beim Überschallflug
- Verallgemeinerung des Doppler-Effekts

Schülertätigkeiten

- Experimentelles Untersuchen der Frequenz von schwingenden Luftsäulen in Abhängigkeit von deren Länge
- Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben zur Frequenz offener und gedeckter Pfeifen
- Entwerfen einer Experimentieranordnung zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit und Bestimmen der Schallgeschwindigkeit
- Interpretieren der Gleichung für den Doppler-Effekt
- Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben zum Doppler-Effekt
- Erklären der Entstehung einer Kopfwelle und des Machschen Kegels am Beispiel eines startenden Überschalljägers

Methodische Hinweise

Die bekannten Welleneigenschaften Reflexion, Beugung und Interferenz werden nach einem wiederholenden Literaturstudium durch entsprechende Experimente demonstriert /2/ /3/ /7/ /8/. Ausgehend von der bekannten Tatsache, daß eine schwingende Luftsäule

bestimmte Töne aussenden kann, erläutert der Lehrer die Tonentstehung durch stehende Wellen /1/ /2/ /3/.
In einem Experiment untersuchen die Schüler in getrennt gemeinschaftlicher Arbeit die Abhängigkeit der Frequenz einer offenen bzw. einer gedeckten schwingenden Luftsäule von deren Länge /5/. Die Anwendung von offenen und gedeckten Pfeifen in Blasinstrumenten wird demonstriert. Die Ursache für den Klang verschiedener Blasinstrumente wird diskutiert. Mit Hilfe der Literatur werden Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit erarbeitet und anschließend durchgeführt. Die Ergebnisse werden verglichen und kritisch eingeschätzt /1/ /2/ /3/ /4/ /5/. In einem Demonstrationsexperiment wird die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mit dem Kundtschen Rohr dargestellt /5/. Die Schallgeschwindigkeiten für Metall, Glas und evtl. Stadtgas werden ermittelt. In einem Vortrag erläutert der Lehrer die Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit von den stofflichen Eigenschaften verschiedener Medien /1/ /2/ /4/. Ausgehend von den Alltagserfahrungen, unterstützt durch ein Demonstrationsexperiment (schwingender Lautsprecher), wird die Gleichung für den Doppler-Effekt erarbeitet /2/. Auf die Bedeutung des Doppler-Effektes in anderen Bereichen der Physik sowie in der Astronomie ist einzugehen.

4. Schallmessung

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Elektrisches und magnetisches Feld
Biologie Klasse 8: "Bau und Funktion des Ohres"

- Begriff "Schallfeld"
- Definition von Schallfeldgrößen
  - Schalldruck

$$p = \varrho \cdot c \cdot \omega \cdot y_{max} \cos\omega \cdot t$$

y_{max} ... Amplitude der schwingenden Teilchen

$$|p_{max}| = \varrho \cdot c \cdot \omega \cdot y_{max}$$

  - Schallstärke: $J = \frac{W}{A \cdot t}$ Einheit: $1\ \frac{W}{m^2}$

$$J = \frac{\varrho \cdot c \cdot \omega^2 y_{max}^2}{2}$$

- Prinzip der Schalldruckmessung
- Das Hören: Hörorgan, Hörbereich, Schmerz- und Reizschwelle
- Definition des Schallpegels

$$L = 10 \cdot \lg \frac{J}{J_o} \text{ dB}$$

$$L = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_o} \text{ dB}$$

- Einheit des Schallpegels: das Dezibel
- Definition der Lautstärke

$$L_N = 10 \cdot \lg \frac{J}{J_o} \text{ phon}$$

$$L_N = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_o} \text{ phon}$$

- Einheit der Lautstärke: das Phon
- Veränderung der Lautstärke bei einer Veränderung der Schallstärke

Schülertätigkeiten

- Lösen von physikalisch-algebraischen Aufgaben zum Schalldruck und zur Schallstärke
- Experimentelles Bestimmen der Hörschwelle für verschiedene Frequenzen
- Interpretieren der Gleichungen für Schallpegel und Lautstärke
- Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben mit Hilfe der Definitionsgleichungen für Schallpegel und Lautstärke
- Diskutieren von Problemen der Lärmbelästigung

Methodische Hinweise

In diesem Abschnitt stehen theoretische Betrachtungen im Vordergrund. Die Schüler kennen elektrische und magnetische Felder. Durch Vergleiche der bekannten Felder mit einem schallerfüllten Raum wird der Begriff "Schallfeld" definiert. Die Schallfeldgrößen werden eingeführt /1/ /2/ /3/ /4/. Bei der Einführung ist besonderer Wert auf die Interpretation der Definitionsgleichungen zu legen. Durch das Lösen von Aufgaben mit Hilfe der Definitionsgleichungen sollen die Schüler Größenvorstellungen gewinnen /6/. Das Prinzip der Schalldruckmessung wird erarbeitet und in einem Demonstrationsexperiment vorgeführt /2/ /5/.

Der Stoff aus dem Biologieunterricht der Klasse 8 über den Bau und die Funktion des Ohres wird wiederholt. Dabei stehen die physikalischen Vorgänge im Vordergrund /2/ /13/. Die Abhängigkeit der Hörgrenze und der Reizschwelle von der Frequenz bzw. der Schallstärke wird in einem Schülerexperiment qualitativ untersucht. Da nicht alle Schülergruppen gleichzeitig experimentieren, werden parallel zum Experiment physikalisch-algebraische Aufgaben zum Schallfeld gelöst /6/.
Die Definitionsgleichungen für den Schallpegel und die Lautstärke werden vom Lehrer gegeben und gemeinsam mit den Schülern diskutiert /3/ /4/. Bei Berechnungen von Lautstärken kann auf Folgerungen eingegangen werden, die sich aus dem Betrieb mehrerer gleich lauter Schallquellen ergeben. Probleme der Lärmbelästigung und des Umweltschutzes werden diskutiert. Der Lehrer nennt Werte für zulässige Schallpegel. Auf Hörschäden durch Lärm wird eingegangen /10/ /11/ /12/.

5. Anwendungen

- Erzeugung von Ultraschall: piezoelektrischer und magnetostriktiver Schallgeber
- Anwendung des Ultraschalls in Technik und Medizin
- Schallaufzeichnungsverfahren und Wiedergabequalität
- Raum- und Bauakustik
  - Schalldämmung
  - Schallabsorption
  - Nachhall

Schülertätigkeiten

- Referieren zu Themen des Ultraschalls, z. B.:
  "Anwendungen des Ultraschalls
  - bei der Werkstoffprüfung
  - in der medizinischen Diagnostik
  - bei Ortungsverfahren
  - in der Chemie" /2/ /10/ /11/
- Referieren zu den Themen:
  "Schallaufzeichnungsverfahren und Verbesserung der Wiedergabequalität" /13/
  "Raumakustische Anforderungen an Musiksäle" /2/

Methodische Hinweise

In diesem Abschnitt wird das Wissen und Können der Schüler aus dem vorangegangenen Abschnitt in vielfältiger Weise angewandt. Es wird den Schülern bewußtgemacht, daß akustische Erscheinungen und Vorgänge häufig sehr komplex und schwer beherrschbar sind (z. B. Raumakustik) /10/ /11/ /13/. Sie müssen aber erkennen, daß auf der Basis grundlegender Gesetze befriedigende Näherungslösungen erzielt werden. Dabei ist es zweckmäßig, einige praktische Beispiele eingehender, andere nur im Überblick zu behandeln /10/ /11/ /13/. Für diese Überblicksbetrachtungen lassen sich vorteilhaft Schülervorträge einsetzen. Die Besonderheiten des Ultraschalls (kleine Wellenlänge, große akustische Leistung) und seine Erzeugung sind vom Lehrer darzustellen. Die Anwendungsmöglichkeiten des Ultraschalls sind durch mehrere Schülervorträge darzustellen /1/ /2/ /4/ /13/.
Bei der Bauakustik sollten in erster Linie Probleme des Arbeitsschutzes (Schallabsorption in Arbeitsräumen) und der Schalldämmung in Wohnhäusern sowie raumakustische Gesichtspunkte in Musiksälen behandelt werden /2/.

Literatur

L S /1/ Recknagel, A.: Physik. Schwingungen und Wellen, Wärmelehre. VEB Verlag Technik, Berlin 1981.

L /2/ Grimsehl, E.: Lehrbuch der Physik. Band 1. Mechanik, Akustik, Wärmelehre. BSB B. G. Teubner-Verlagsgesellschaft, Leipzig 1981.

L S /3/ Kuchling, H.: Physik. Nachschlagewerk für Grundlagenfächer. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1980.

L /4/ Körner, W.: Physik - Fundament der Technik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1980.

L S /5/ Sprockhoff, G.: Physikalische Schulversuche. Zehnter Teil. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1982.

L S /6/ Lindner, H.: Physikalische Aufgaben. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

S /7/ Physik in Übersichten. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.

S /8/ Wissensspeicher Physik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1981.

L S /9/ Mende, Simon: Physik. Gleichungen und Tabellen. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L /10/ Brockhaus. ABC Naturwissenschaft und Technik. VEB F. A. Brockhausverlag, Leipzig 1980.

L /11/ Brockhaus. ABC Physik. VEB F. A. Brockhausverlag, Leipzig 1980.

L S /12/ Mensch und Umwelt. Urania Sonderheft (17. April 1973). Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1973.

L S /13/ Jakubaschk, H.: Amateurtontechnik. Militärverlag der DDR, Berlin 1981.

L S /14/ Krause, H.: Natur, Vorbild der Technik. Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1982.

Teillehrgang 2

Kräfte in der Mechanik

Stoffübersicht

1. Einführung	1 Stunde
2. Addition und Zerlegung von Kräften	8 Stunden
3. Gleichgewicht und Standfestigkeit	8 Stunden
4. Reibung	8 Stunden

Vorbemerkungen

Im Teillehrgang erweitern und vertiefen die Schüler ihr Wissen und Können auf den Gebieten der Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften sowie der Reibung in der Mechanik. Sie sollen erkennen, daß die Beherrschung von Kräften, die an Bauwerken und Maschinen sowie bei Reibungsvorgängen in Natur und Technik auftreten, ein hohes Maß an Fachkenntnissen voraussetzt.
Zur Einführung und Motivierung wird ein Überblick über die Entstehung und Entwicklung der Statik gegeben. Durch Vergleich von Bauwerken aus verschiedenen geschichtlichen Epochen sowie der zu ihrer Errichtung benutzten technischen Mittel sollen die Schüler an statische Probleme herangeführt werden, die bei modernen Bauwerken, technischen Geräten und Anlagen auftreten und zu lösen sind.
Zur Festigung des Wissens und Könnens der Schüler sind Aufgaben zur Kräfteaddition und -zerlegung zeichnerisch und rechnerisch zu lösen. Die Zerlegung von Kräften in parallele Teilkräfte wird neu erarbeitet. Zur Anwendung werden Auflagekräfte an Brücken und Lagern berechnet.
Ausgehend vom Gleichgewicht erkennen die Schüler bei Untersuchungen zur Standfestigkeit, welche Überlegungen und Berechnungen in bezug auf Sicherheit beim Bau von Gebäuden oder anderen Bauwerken notwendig sind. Im Zusammenhang mit Kippmomenten sind auch Betrachtungen zum Verhalten von Fahrzeugen in Kurven oder auf unebenen Flächen anzustellen und Schlußfolgerungen für das Beladen von Fahrzeugen und das Befahren von Kurven zu ziehen. Durch das Einbeziehen von dynamischen Vorgängen bestehen weitere Möglichkeiten, Stoff aus dem Stoffgebiet Mechanik der Klasse 9 zu festigen.

Die Behandlung der einzelnen Reibungsarten dient dem Ziel, den Schülern die Bedeutung der Reibung in Natur und Technik zu verdeutlichen. Beim Lösen vielfältiger Anwendungsaufgaben sollen die Schüler erkennen, daß es in der Technik einerseits darauf ankommt, Verluste an mechanischer Energie durch Reibung möglichst gering zu halten, andererseits aber bei der Übertragung von Kräften häufig Reibungskräfte geeigneter Größe notwendig sind. Der Teilabschnitt Reibung ist auch zu nutzen, komplexe Aufgaben unter Einbeziehung der Kräftezerlegung und -addition, der Standfestigkeit sowie dynamischer Sachverhalte zu lösen.

Inhalt des Lehrgangs

1. Einführung

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Wirkungen von Kräften, Kräftezusammensetzung, Kräftezerlegung, Reibungskraft, Reibungsarbeit, Reibungszahl

- Die historische Entwicklung der Statik
- Bedeutung der Statik im Bauwesen und in der Industrie
- Bedeutung der Reibung für die Entwicklung der Technik

Methodische Hinweise

Die erste Stunde dient der Zielorientierung und Motivierung der Schüler für diesen Teillehrgang. In einem einführenden Vortrag gibt der Lehrer einen Überblick über die historische Entwicklung der Statik /12/ /19/. An einem konkreten Beispiel (z. B. Bau von Pyramiden) wird dargestellt, mit welchen einfachen technischen und organisatorischen Mitteln große Kräfte gemeistert wurden. Durch Berechnungen kann gezeigt werden, wie sich Reibungskräfte durch den Einsatz geeigneter Mittel (Rolle) verringern würden /19/. Die Bedeutung der Statik für die Entwicklung des Bauwesens und der Industrie wird an einem aktuellen Beispiel dargestellt (Bau von Häusern, Brückenbau). Im Vortrag sollen Fragen und Probleme aufgeworfen werden, deren Lösung im Verlaufe des Lehrgangs erfolgt. Geeignete Demonstrationsexperimente zu folgenden Sachverhalten, wie Kräfte an Kranauslegern, Standfestigkeit von Körpern, Reibungskräfte in Lagern, sollten in den Vortrag einbezogen werden.

2. Addition und Zerlegung von Kräften

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Modell Massepunkt, Kräftezusammensetzung, Kräftezerlegung, Winkelfunktionen

- Wiederholung des Kräfteparallelogramms
- Zerlegung einer Kraft in parallele Kräfte
- Anwendung der Kräfteaddition und -zerlegung
  (z. B. Kranausleger, Dachkonstruktionen, Brücken)
- Ausblick auf Festigkeit von Trägern

Schülertätigkeiten

- Experimentelles Untersuchen der Zerlegung einer Kraft in zwei Teilkräfte
- Experimentelles Untersuchen der Zerlegung einer Kraft in zwei parallele Kräfte
- Lösen von Aufgaben zur Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften
- Experimentelles Ermitteln der Auflagekräfte bei Modellen von Brücken und Dachkonstruktionen u. a.
- Referieren zu den Themen:
  "Kräfte an technischen Geräten und Einrichtungen"
  "Auflagekräfte an Brücken" /17/ /20/
- Lösen von Anwendungsaufgaben

Methodische Hinweise

In einer Wiederholung werden Kräfte zeichnerisch und rechnerisch addiert und zerlegt. Die Aufgaben mit unterschiedlichem Anforderungsniveau dienen sowohl der Vertiefung der physikalischen Kenntnisse als auch der Festigung der mathematischen Fähigkeiten und Fertigkeiten. Die Zerlegung einer Kraft in parallele Kräfte wird zuerst experimentell untersucht, dann auch zeichnerisch durchgeführt.
Zur Anwendung der Kräfteaddition und -zerlegung werden Kräfte an Kranauslegern, Dachkonstruktionen, Brücken u. a. untersucht. An gegenständlichen Modellen werden experimentelle Untersuchungen durchgeführt.

Die Komplexität der auftretenden Probleme wird beim Lösen von Anwendungsaufgaben (z. B. Berechnung der auftretenden Kräfte bei der Fahrt eines Fahrzeugs über eine Brücke) dargestellt.

In einem Vortrag geht der Lehrer auf die Festigkeit und Biegung von Trägern ein, die in der Statik von Bedeutung sind /2/ /3/ /4/. Der Vortrag ist mit Hilfe von Demonstrationsexperimenten anschaulich zu gestalten /6/.

3. Gleichgewicht und Standfestigkeit

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Massepunkt, Drehmoment (ESP)

- Drehmoment $M = F \cdot l$ für $F \perp l$
- Schwerpunkt einfacher geometrischer Figuren
- Zusammenhang zwischen Gleichgewicht und Lage des Schwerpunktes, Schwerelinie
- Koordinaten des Schwerpunktes einer Fläche
- Standfestigkeit

Standmoment $M_s = G \cdot l$

Kippmoment $M_k = F \cdot h$

Standsicherheitszahl $S = \frac{M_s}{M_k}$

G ... Gewichtskraft des Körpers

h ... Höhe der Kraft über der Grundfläche

l ... senkrechter Abstand Kippkante-Schwerelinie

F ... Kippkraft

Schülertätigkeiten

- Experimentelles Bestimmen von Schwerpunkten ebener geometrischer Figuren
- Lösen von Aufgaben zur Bestimmung von Schwerpunkten einfacher geometrischer Figuren
- Experimentelles Ermitteln der Abhängigkeit der Kippkraft
  - von der Lage des Angriffspunktes der Kraft
  - von der Lage des Schwerpunktes des Körpers
  - von der Lage der Kippkante
- Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben zur Standfestigkeit
- Experimentelles Ermitteln der Standsicherheitszahl eines vorgegebenen Körpers

Methodische Hinweise

Ausgehend von einem Demonstrationsexperiment definiert der Lehrer das Drehmoment /6/ /16/. Anschließend wird der Begriff Schwerpunkt eingeführt /1/ /2/ /3/ /4/. Der Zusammenhang zwischen Gleichgewicht und Lage des Schwerpunktes wird mit Hilfe flächenhafter Körper im Experiment demonstriert und der Begriff der Schwerelinie erarbeitet /6/. Die Schüler wenden die Erkenntnisse an, um experimentell den Schwerpunkt einfacher geometrischer Figuren zu bestimmen /6/ /18/. Zur theoretischen Durchdringung erläutert der Lehrer die Beziehungen für die Berechnung der Schwerpunktskoordinaten einer Fläche /2/ /4/. Von den Schülern werden Aufgaben zur Schwerpunktsberechnung gelöst /8/.
Die Abhängigkeit der zum Kippen benötigten Kräfte von der Lage des Angriffspunktes der Kippkraft, der Lage des Schwerpunktes des Körpers, der Gewichtskraft des Körpers und der Lage der Kippkante wird durch die Schüler experimentell untersucht. Die experimentelle Untersuchung sollte in getrennt gemeinschaftlicher Arbeit erfolgen /6/.
In Auswertung der Schülerexperimente definiert der Lehrer das Standmoment, das Kippmoment und die Standsicherheitszahl. Die Schüler ermitteln experimentell die Standsicherheitszahl einfacher geometrischer Körper /6/ /17/.
Beim Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben zur Standsicherheit werden die erarbeiteten Erkenntnisse gefestigt /8/.
In einer abschließenden Diskussion werden technische Probleme der Standsicherheit erörtert (z. B. Erdbebensicherheit von Gebäuden, Beladen eines Fahrzeugs, Bau von Hochhäusern) /14/ /15/ /19/.

4. Reibung

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Haft-, Gleit-, Rollreibung, Reibungskraft, Reibungsarbeit, Reibungszahl

- Reibungskraft $F_R = \mu \cdot F_N$ μ ... Reibungszahl
- Haftreibung
  - Haftreibungszahl μ_o
  - Böschungswinkel bei Schüttgütern
  - Anwendungen zur Haftreibung
    (z. B. Haftreibung im Straßenverkehr)

- Gleitreibung
  - Gleitreibungszahl μ_G
  - Anwendungen zur Gleitreibung
    (z. B. Reibungskräfte am Lagerzapfen, Gleitreibungskräfte an Maschinen)
- Rollreibung
  - Rollreibungszahl $\mu_R = \frac{F_R \cdot r}{F_N}$; Einheit der Rollreibungszahl: 1 m
  - Anwendungen zur Rollreibung (z. B. Reibungskräfte am rollenden Rad, Reibungskräfte in Wälz- und Kugellagern)

Schülertätigkeiten

- Deduktives Herleiten der Gleichung $\mu_o = \tan \alpha$
- Experimentelles Bestimmen von Haft- und Gleitreibungszahlen
- Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben zu den drei Reibungsarten
- Diskutieren der Bedeutung der Haft-, Gleit- und Rollreibung für die Technik
- Lösen von komplexen Aufgaben zur Reibung
- Referieren zum Thema: "Gleitreibung an Maschinen"

Methodische Hinweise

Die Kenntnisse aus dem obligatorischen Unterricht über die Reibung werden wiederholt /9/ /10/. Dabei ist nochmals auf die Abhängigkeit der Reibungskraft von verschiedenen Einflußgrößen einzugehen. Das Bestimmen von Haft- und Gleitreibungszahlen sollte an der geneigten Ebene erfolgen, um das Arbeiten mit Kräfteparallelogrammen zu üben. Zu den einzelnen Reibungsarten sind Anwendungsaufgaben zu lösen /6/ /7/ /8/. Dabei wird die Bedeutung jeder Reibungsart für die Praxis diskutiert (z. B. Böschungswinkel bei Schüttgütern, Reibungskräfte in Gleit- und Wälzlagern) /14/ /15/. Die Böschungswinkel von Schüttgütern können auch experimentell ermittelt werden.
Die Reibungskräfte für Haft-, Gleit- und Rollreibung werden miteinander verglichen. Schlußfolgerungen für die Anwendung in der Technik werden daraus abgeleitet /14/ /15/ /16/.
Großer Wert ist auf die Lösung komplexer Aufgaben zu legen, die im Zusammenhang mit der Reibung auch Elemente der Kräfteaddition und -zerlegung sowie der Dynamik enthalten sollten /8/.

Literatur

L S /1/ Recknagel, A.: Physik. Mechanik. VEB Verlag Technik, Berlin 1980.

L /2/ Grimsehl, E.: Lehrbuch der Physik. Band 1. Mechanik, Akustik, Wärmelehre. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1981.

L S /3/ Kuchling, H.: Physik. Nachschlagewerk für Grundlagenfächer. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1980.

L /4/ Körner, W.: Physik - Fundament der Technik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1980.

L S /5/ Krötsch, M.: Physikalisches Praktikum für Anfänger. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1982.

L /6/ Sprockhoff, G.: Physikalische Schulversuche. Erster und zweiter Teil. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.

L S /7/ Autorenkollektiv: Physik - Verstehen durch Üben. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /8/ Lindner, H.: Physikalische Aufgaben. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

S /9/ Physik in Übersichten. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.

S /10/ Wissensspeicher Physik. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1981.

L S /11/ Mende, Simon: Physik. Gleichungen und Tabellen. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /12/ Lischewski, W. P.: Unterhaltsames aus der Mechanik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1982.

L S /13/ Krause, H.: Natur, Vorbild der Technik. Urania-Verlag, Leipzig, Berlin, Jena 1982.

L /14/ Brockhaus:ABC der Naturwissenschaft und Technik. VEB F. A. Brockhausverlag, Leipzig 1980.

L /15/ Brockhaus: ABC Physik. VEB F. A. Brockhausverlag, Leipzig 1980.

L /16/ Winkler, J.: Statik, Grundlagen der Technischen Mechanik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L /17/ Oksanovic: Der unsichtbare Konflikt. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1982.

L /18/ Heise, G.: Mechanik, Anleitungen zum Schülerexperimentiergerät. (Lehrmittelbeiheft) Modellbau und Labormöbel. Apolda 1979.

L S /19/ Rezac, K.: Rund um die großen Erfindungen. Der Kinderbuchverlag, Berlin 1979.

L S /20/ Welt ohne Grenzen. Der Kinderbuchverlag, Berlin 1972.

Teillehrgang 3

Mechanik der strömenden Flüssigkeiten und Gase

Stoffübersicht

1. Einführung	2 Stunden
2. Strömungsvorgänge in idealen Flüssigkeiten und Gasen	8 Stunden
3. Laminare Strömung realer Flüssigkeiten und Gase	5 Stunden
4. Turbulente Strömung realer Flüssigkeiten und Gase	4 Stunden
5. Strömungsvorgänge am Flugzeug	6 Stunden

Vorbemerkungen

In diesem Lehrgang wird das Wissen und Können der Schüler über Grundlagen der Mechanik der strömenden Flüssigkeiten und Gase aus dem Physikunterricht der Klasse 7 vertieft und erweitert. Sie werden mit Anwendungen der Strömungslehre in Technik, Medizin und Sport vertraut gemacht.

Bei der Erarbeitung der Grundbegriffe der Strömungslehre werden Kenntnisse der Schüler über den Aufbau der Flüssigkeiten und Gase aus Teilchen sowie über die Arbeit mit Modellen angewendet und gefestigt.

In den Abschnitten 2 bis 4 steht die Behandlung grundlegender Gesetze der klassischen Strömungslehre und deren Anwendung bei der Erklärung von Erscheinungen und Vorgängen in Natur und Technik sowie bei der Bestimmung physikalischer Größen im Vordergrund.

Der Aufbau dieser Abschnitte orientiert sich an den entsprechenden Modellen und den damit verbundenen Gültigkeitsbereichen für die physikalischen Gesetze. Ausgehend von Strömungen in idealen Flüssigkeiten über die laminare Strömung realer Flüssigkeiten zur turbulenten Strömung realer Flüssigkeiten wird der Gültigkeitsbereich der physikalischen Gesetze erweitert.

Nach der Einführung des Modells "ideale Flüssigkeit" werden die Kontinuitätsgleichung und die Bernoullische Gleichung behandelt. Die Bernoullische Gleichung wird aus dem Energieerhaltungssatz

der Mechanik abgeleitet. Die Kontinuitätsgleichung wird experimentell bestätigt, und mit der Venturidüse werden Geschwindigkeitsmessungen in Strömungen vorgenommen. Zur Anwendung der Gesetze auf technische Problemstellungen werden physikalisch-algebraische und qualitative Aufgaben gelöst.
Die Behandlung der Laminarströmung geht ebenfalls vom entsprechenden Modell aus. Die Reibungsgesetze werden auf technische Problemstellungen angewendet. Dabei werden physikalisch-algebraische und experimentelle Aufgaben gelöst.
In das Gebiet der turbulenten Strömung wird eingeführt, indem davon ausgegangen wird, daß beim Erhöhen der Strömungsgeschwindigkeit ein Umschlag von der laminaren in die turbulente Strömung eintritt. Die Entstehung von Wirbeln wird in Verbindung mit dem Energieerhaltungssatz als Ursache für den Strömungswiderstand behandelt. Das Widerstandsgesetz für turbulente Strömungen wird in Schülerexperimenten erarbeitet. Das Widerstandsgesetz wird auf Probleme aus den Bereichen des Sports und der Technik angewendet.
Der Teillehrgang schließt mit der Behandlung grundlegender Erkenntnisse und Gesetzmäßigkeiten der Strömungsvorgänge am Flugzeug ab. Dabei geht es vor allem um den Aufbau und die Wirkungsweise des Flugzeugs als technisches Gerät. Es wird von der Wirkungsweise der Tragfläche und den dabei wirkenden Gesetzmäßigkeiten ausgegangen. In Schülervorträgen werden der prinzipielle Aufbau des Flugzeugs und die Stabilität des Flugzeugs erläutert und in einfachen Experimenten demonstriert. Zur Entwicklung des Flugwesens werden historisierende Betrachtungen durchgeführt. Auf den Wert moderner Militärflugzeuge für die sozialistische Landesverteidigung wird eingegangen.

Inhalt des Lehrgangs

1. Einführung

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Druck und Druckkraft, Kolbendruck, Schweredruck, statischer Auftrieb, Bahnen von Flüssigkeitsteilchen und Stromlinien, Aufbau der Stoffe aus Teilchen
- Überblick über Aufgaben und Anwendungen der Strömungslehre
  - Historischer Wandel der Schwerpunktaufgaben der Strömungslehre (vom Flugzeugbau zum Strömungsmaschinenbau)

. Anwendungen der Strömungslehre im Flugzeug-, Schiffs- und Strömungsmaschinenbau, bei Transportvorgängen in Rohrleitungen, Mischungsprozessen in der chemischen Industrie, im Sport und Strömungsvorgängen in der Medizin

- Grundbegriffe der Mechanik ruhender Flüssigkeiten und Gase
  . Druck und Druckkraft
  . Kolbendruck und Schweredruck
  . Statischer Auftrieb
- Grundbegriffe der Strömungslehre
  . Bahnlinie und Stromlinie
  . Stromröhre und Stromfaden
  . Definition der Stromstärke: $I = \frac{V}{t}$

Schülertätigkeiten

- Lösen von Aufgaben zur Mechanik ruhender Flüssigkeiten und Gase
- Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben zur Anwendung der Definition der Stromstärke

Methodische Hinweise

Einführend gibt der Lehrer einen Überblick über Schwerpunktaufgaben und aktuelle Anwendungen der Strömungslehre /14/ /15/.

Die Schüler wiederholen die Grundbegriffe der Mechanik ruhender Flüssigkeiten und Gase und lösen solche Aufgaben, die zum besseren Verständnis der Begriffsmerkmale beitragen /8/.
In einem Lehrervortrag mit Demonstrationsexperimenten werden Grundbegriffe der Strömungslehre erläutert /1/ /5/. Dabei wird vom Aufbau einer Flüssigkeit aus Teilchen ausgegangen.
Auf die Relativität der Bewegung bei Strömungsvorgängen und auf den Gültigkeitsbereich der Gesetze der klassischen Strömungslehre wird hingewiesen.

2. Strömungsvorgänge in idealen Flüssigkeiten und Gasen

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Strömungsgeschwindigkeit und Strömungsquerschnitt, Abhängigkeit des statischen Druckes von der Strömungsgeschwindigkeit, Energieerhaltungssatz

- Modell "ideale Flüssigkeit"
- Kontinuitätsgleichung: $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$
- Bernoullische Gleichung:

  $\frac{\rho}{2} \cdot v^2 + p + \rho \cdot g \cdot h = p_0$, p_0 = konst.
- Anwendungen der Bernoullischen Gleichung:
  - Zerstäuber und Vergaser
  - Wasserstrahlpumpe
  - Gasbrenner
  - Hydrodynamisches und aerodynamisches Paradoxon
- Druck- und Geschwindigkeitsmessungen in strömenden Flüssigkeiten und Gasen mit Hilfe von
  - Drucksonde
  - Pitot-Rohr
  - Prandtlsches Staurohr
  - Venturidüse
- Torricellisches Ausflußgesetz: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$
- Anwendung der Strömungsgesetze in Wasserkraftwerken

Schülertätigkeiten

- Experimentelles Bestätigen der Kontinuitätsgleichung
- Diskutieren von Anwendungsbeispielen der Bernoullischen Gleichung nach entsprechendem Literaturstudium /1/ /2/
- Erklären des hydrodynamischen und aerodynamischen Paradoxons
- Lösen von Aufgaben zur Anwendung der Kontinuitätsgleichung und der Bernoullischen Gleichung
- Experimentelles Bestimmen der Strömungsgeschwindigkeit in Luft mit der Venturidüse
- Deduktives Herleiten des Ausflußgesetzes
- Lösen von Aufgaben zur Anwendung des Ausflußgesetzes

Methodische Hinweise

In einem Lehrervortrag wird das Modell "ideale Flüssigkeit" eingeführt /10/. Dabei werden die Kenntnisse der Schüler über die Arbeit mit Modellen in der Physik erweitert und gefestigt. Ausgehend vom Problem der Wirkungsweise einer Düse wird die Kontinuitätsgleichung im Unterrichtsgespräch erarbeitet. Anschließend wird die Kontinuitätsgleichung mit Hilfe eines Wasserstrahls,

der aus einer Mariottschen Flasche ausströmt, experimentell bestätigt /5/.
Die Behandlung der Bernoullischen Gleichung kann mit Hilfe einiger Demonstrationsexperimente zum hydrodynamischen und aerodynamischen Paradoxon und den damit verbundenen Erklärungsproblemen begonnen werden. In einem Lehrervortrag wird die Bernoullische Gleichung deduktiv aus dem Energieerhaltungssatz hergeleitet /2/.

Nach entsprechendem Literaturstudium diskutieren die Schüler in kurzen Vorträgen einige Anwendungen der Bernoullischen Gleichung. In einer Problemdiskussion wird die Erklärung für das hydrodynamische und aerodynamische Paradoxon erarbeitet. Zur Erklärung weiterer Erscheinungen (Abdecken eines Daches, Anziehen von dicht nebeneinander fahrenden Schiffen /2/) wird die Bernoullische Gleichung angewendet. Es werden physikalisch-algebraische Aufgaben zur weiteren Anwendung der Kontinuitätsgleichung und der Bernoullischen Gleichung gelöst /6/ /7/ /8/.
Die Geschwindigkeitsmessung am Flugzeug dient als Ausgangspunkt für die Behandlung der Druck- und Geschwindigkeitsmessung. Von den Schülern sollen experimentell Geschwindigkeitsmessungen in strömender Luft vorgenommen werden. Zur Vorbereitung auf dieses Experiment kann ein Schülervortrag zur Messung des statischen Druckes, des Staudruckes und des Gesamtdruckes gehalten werden /10/. Die für das Prinzip der Geschwindigkeitsmessung mit dem Prandtlschen Staurohr und der Venturidüse gültigen Gleichungen für die Geschwindigkeit sind geeignet, von den Schülern deduktiv aus der Kontinuitätsgleichung und der Bernoullischen Gleichung hergeleitet zu werden /5/.
Es werden Experimente zur Geschwindigkeitsmessung mit der Venturidüse durchgeführt. Danach wird auf die Anwendung der Meßprinzipien zur Bestimmung der Geschwindigkeit von Flugzeugen und in der Technik eingegangen /3/ /5/ /11/. Auf die Unterscheidung von Relativgeschwindigkeit und absoluter Geschwindigkeit von Flugzeugen wird hingewiesen.
Ausgehend von einem Ausflußproblem wird das Torricellische Ausflußgesetz in einer Problemdiskussion deduktiv hergeleitet /1/.

3. Laminare Strömung realer Flüssigkeiten und Gase

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Reibungskraft bei Bewegung fester Körper gegeneinander, Gleitreibung, Haftreibung

- Innere Reibung
- Modell "Laminarströmung"
- Reibungsgesetze für die laminare Strömung zäher Flüssigkeiten:
  - Newtonscher Ansatz für die Strömung zäher Flüssigkeiten

$$F_R = \eta \cdot A \cdot \frac{dv}{dn}$$

  - Dynamische Viskosität η als Koeffizient der inneren Reibung, Einheit: 1 Pa · s
  - Stokessches Gesetz für die Bewegung einer Kugel in einer zähen Flüssigkeit: $F_R = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v$
  - Hagen-Poiseuillesches Gesetz für die laminare Strömung durch ein Rohr:

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{p_1 - p_2}{l} r_o^4$$

  und die dazu gehörende Reibungskraft

$$F_R = 8\pi \cdot \eta \cdot l \cdot v$$

- Anwendung der Reibungsgesetze
  - Bereich der Technik (Schmieren und Ölen von Lagern, Fallgeschwindigkeit von Staub- und Schwebeteilchen, Strömungsvorgänge in engen Rohren und Kapillaren)
  - Bereich der Medizin (Blutgefäßsystem des Menschen)
- Prinzip der Bestimmung der dynamischen Viskosität einer zähen Flüssigkeit (Kugelfallmethode)

Schülertätigkeiten

- Diskutieren von Anwendungen der Reibungsgesetze /10/
- Lösen von physikalisch-algebraischen Aufgaben zur Anwendung der Reibungsgesetze
- Deduktives Herleiten der Gleichung zur Bestimmung der dynamischen Viskosität nach der Kugelfallmethode
- Experimentelles Bestimmen der dynamischen Viskosität einer Flüssigkeit

Methodische Hinweise

Es kann von der praktischen Problemstellung "Schmierung eines Lagerzapfens" ausgegangen werden. Der Vergleich der Reibungskräfte zwischen Lager und Lagerzapfen mit und ohne Schmierung führt zum Problem der inneren Reibung in Flüssigkeiten. In einem Lehrervortrag werden die innere Reibung, das Modell "Laminarströmung", die Reibungsgesetze für die laminare Strömung zäher Flüssigkeiten und die dynamische Viskosität eingeführt und erläutert /1/ /10/.
Zur weiteren Anwendung der Reibungsgesetze werden physikalisch-algebraische Aufgaben gelöst /6/ /7/ /8/.
In einem Schülerexperiment wird die dynamische Viskosität einer Flüssigkeit bestimmt /3/ /5/. Zur Vorbereitung auf dieses Experiment leiten die Schüler die Gleichung zur Bestimmung der dynamischen Viskosität nach der Kugelfallmethode theoretisch her /1/.
Werte für die dynamische Viskosität werden in der Größenordnung mit Tabellenwerten verglichen /9/.
Die Ergebnisse werden vorgetragen und diskutiert.

4. Turbulente Strömung realer Flüssigkeiten und Gase

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Energieerhaltungssatz in der Mechanik

- Turbulente Strömung
- Umschlag einer laminaren in eine turbulente Strömung bei einer kritischen Geschwindigkeit
- Wirbelentstehung
  - Wirbelbildung hinter umströmten Körpern
  - Erklärung der Entstehung von Wirbeln mit Hilfe der inneren Reibung
  - Stabilität von Wirbeln und Energieübertragung durch Wirbel
- Widerstand in Strömungen
  - Wirbelbildung in Verbindung mit dem Energieerhaltungssatz als Ursache für den Strömungswiderstand
  - Widerstandsgesetz für turbulente Strömungen:

$$F_R = c \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A$$

- Widerstandsbeiwert c und dessen Abhängigkeit von der Form des umströmten Körpers und den Strömungseigenschaften des Mediums
- Anwendungen des Widerstandsgesetzes
  . Bereiche des Sports (Skisport, Fallschirmspringen)
  . Bereiche der Technik (Transportvorgänge in Rohrleitungen; Energieeinsparung und hohe Geschwindigkeiten bei Kraftfahrzeugen; Winddruck auf Gebäude; Fallgeschwindigkeit von Regentropfen)

Schülertätigkeiten

- Erklären der Entstehung von Wirbeln mit Hilfe der inneren Reibung
- Erklären des Strömungswiderstandes mit Hilfe der Wirbelbildung und des Energieerhaltungssatzes
- Experimentelles Untersuchen der Abhängigkeiten:
  a) $F_R = f(A)$
  b) $F_R = f(v)$
  c) F_R ist abhängig von der Körperform
- Diskutieren von Anwendungen des Widerstandsgesetzes
- Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben zur Anwendung des Widerstandsgesetzes

Methodische Hinweise

Es kann von Strömungsvorgängen in Rohrleitungen ausgegangen werden. In einem Vortrag /1/ wird der Umschlag einer laminaren in eine turbulente Strömung bei einer kritischen Geschwindigkeit vom Lehrer erläutert. Möglichkeiten von Einflußgrößen auf die kritische Geschwindigkeit werden im Unterrichtsgespräch erarbeitet.
Bei der Erklärung der Wirbelentstehung wird von der Wirbelbildung hinter umströmten Körpern ausgegangen. Zur Motivation wird an die Alltagserfahrungen der Schüler (Wirbelbildung hinter Bauwerken, an bewegten Kraftfahrzeugen und Schiffen) angeknüpft. Die Entstehung von Wirbeln hinter umströmten Körpern wird demonstriert. Die Erklärung der Entstehung von Wirbeln mit Hilfe der inneren Reibung kann in einer Schülerdiskussion erarbeitet werden. Die Stabilität von Wirbeln und die Energieübertragung durch Wirbel werden in Demonstrationsexperimenten gezeigt. In einer

Problemdiskussion wird von den Schülern der Strömungswiderstand mit Hilfe der Wirbelbildung und des Energieerhaltungssatzes erklärt /1/.
Weiterhin werden im Unterrichtsgespräch mögliche Einflußgrößen auf die Widerstandskraft herausgearbeitet.
In Schülerexperimenten werden die Abhängigkeiten

$F_R = f(A)$, $F_R = f(v)$ und F_R abhängig von der Körperform

untersucht /5/. Die Ergebnisse werden im Unterrichtsgespräch zum Widerstandsgesetz zusammengefaßt. Die Abhängigkeit der Widerstandskraft von der Dichte des Mediums wird vom Lehrer gegeben. In einem Vortrag weist der Lehrer auf die Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes von der Form des umströmenden Körpers und den Strömungseigenschaften des Mediums hin /1/. In Schülerdiskussionen werden Anwendungen des Widerstandsgesetzes erörtert /2/ /5/. Zur weiteren Anwendung des Widerstandsgesetzes lösen die Schüler physikalisch-algebraische Aufgaben /6/ /7/ /8/.

5. Strömungsvorgänge am Flugzeug

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Statischer Auftrieb, dynamischer Auftrieb an Tragflächen

- Anstellwinkel von Tragflächen
- Dynamischer Auftrieb einer Tragfläche, seine Abhängigkeit vom Anstellwinkel
- Widerstand einer Tragfläche, seine Abhängigkeit vom Anstellwinkel
- Polardiagramm einer Tragfläche
- Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise eines Flugzeugs:
  - Wirkung eines Vorflügels und einer Landeklappe
  - Wirkungsweise des Leitwerkes
  - Stabilität des Flugzeugs
- Historische Betrachtungen zur Entwicklung der Flugphysik; Würdigung der Leistungen Otto Lilienthals
- Aufgaben der Militärflugzeuge für die sozialistische Landesverteidigung

Schülertätigkeiten

- Erklären der Entstehung des Auftriebs an einer Tragfläche mit Hilfe des Stromlinienbildes und der Bernoullischen Gleichung
- Experimentelles Untersuchen der Wirkungsweise einer Tragfläche:
  a) Abhängigkeit des Widerstandes einer Tragfläche vom Anstellwinkel
  b) Abhängigkeit des dynamischen Auftriebs einer Tragfläche vom Anstellwinkel
- Konstruieren des Polardiagramms einer Tragfläche aus den Versuchsergebnissen und Interpretieren desselben
- Werten der Entwicklung moderner Militärflugzeuge für die sozialistische Landesverteidigung

Methodische Hinweise

Es wird vom Problem der Entstehung des Auftriebs an einem Flugzeug ausgegangen. In einer Problemdiskussion wird mit Hilfe des Stromlinienbildes und der Bernoullischen Gleichung die Entstehung des Auftriebs an einer Tragfläche erklärt /10/. Im Unterrichtsgespräch werden die Kräfte an der Tragfläche erarbeitet /11/. Daraus ergibt sich das Problem der Beeinflussung der Widerstands- und Auftriebskraft an der Tragfläche durch den Anstellwinkel. In Schülerexperimenten erfolgen Untersuchungen der Kräfte an Tragflächen /5/. Aus den Versuchsergebnissen für die Widerstands- bzw. Auftriebskraft an der Tragfläche in Abhängigkeit vom Anstellwinkel wird das Polardiagramm für die Tragfläche konstruiert /2/ /5/.
Einzelne Abschnitte von Polardiagrammen für bestimmte Flugzeugtypen (gut steigende und schnell fliegende Flugzeuge) werden in Problemdiskussionen interpretiert /2/ /11/.
Im Anschluß daran werden Aufbau und Wirkungsweise von Flugzeugen behandelt. Anhand von Bildern oder gegenständlichen Modellen werden der prinzipielle Aufbau eines Flugzeuges und die Wirkungsweise wichtiger Teile des Flugzeugs erläutert.
Zu diesem Stoffabschnitt können zu einzelnen Teilthemen Schülervorträge eingesetzt werden /11/ /15/. Während der Vorträge sollten die Schüler die Wirkungsweise der einzelnen Teile an einfachen Demonstrationsexperimenten erläutern.

Auch zu den historisierenden Betrachtungen können Schülervorträge gehalten werden /12/ /13/ /16/. Über die modernen Entwicklungen im Flugzeugbau wird diskutiert, Dabei weist der Lehrer darauf hin, daß die Gesetze der klassischen Strömungslehre nur für Geschwindigkeiten gelten, die unterhalb der Schallgeschwindigkeit liegen. Über die neuesten Entwicklungen von Militärflugzeugen und ihre Bedeutung für die sozialistische Landesverteidigung wird diskutiert. Im Unterrichtsgespräch sollten die Schüler zu einer Wertung imperialistischer und sozialistischer Militärpolitik geführt werden. Wo die Möglichkeit besteht, sollte eine Exkursion zu einem Segelflugplatz der GST durchgeführt werden.

Literatur

L S /1/ Recknagel, A.: Physik. Mechanik. VEB Verlag Technik, Berlin 1980.

L /2/ Grimsehl, E.: Lehrbuch der Physik. Band 1. Mechanik, Akustik, Wärmelehre. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1981.

L S /3/ Kretschmar, Mende, Wollmann: Physikalisches Praktikum. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1980.

L S /4/ Krötzsch, M. (Hrsg.): Physikalisches Praktikum für Anfänger. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1982.

L S /5/ Sprockhoff, G. (Hrsg.): Physikalische Schulversuche. Dritter bis fünfter Teil. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1981.

L S /6/ Autorenkollektiv: Übungen zur Physik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /7/ Autorenkollektiv: Physik - Verstehen durch Üben. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /8/ Lindner, H.: Physikalische Aufgaben. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /9/ Mende, Simon: Physik. Gleichungen und Tabellen. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /10/ Autorenkollektiv: Einführung in die Physik. Mechanik, Physik für Lehrer. Band 2. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1980.

L S /11/ Das Buch vom Flugzeug. transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Berlin 1975.

S /12/ Meyer, G.: Zur Geschichte des Flugzeugs. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1967.
S /13/ Conrad, U.: Erfinder - Erforscher - Entdecker. Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1981.
L /14/ Albring: Strömungslehre im Maschinenbau. In: "Wissenschaft und Fortschritt", Heft 2/1976.
L S /15/ Albring: Gegenstand und Aufgaben der Strömungslehre. In: "Jugend und Technik", Heft 6/1977.
S /16/ Wrobel: Otto Lilienthal. In: "technikus", Heft 9/1971.

Teillehrgang 4

Optik

Stoffübersicht

1.	Vergrößerung und Auflösungsvermögen optischer Geräte	15 Stunden
1.1.	Einführung; Grundlagen optischer Abbildungen durch Linsen	(5 Stunden)
1.2.	Vergrößerung des Sehwinkels durch optische Geräte	(5 Stunden)
1.3.	Auflösungsvermögen optischer Geräte	(5 Stunden)
2.	Interferenz des Lichtes durch Reflexion	4 Stunden
3.	Polarisation des Lichtes	6 Stunden

Vorbemerkungen

In diesem Teillehrgang wird das Wissen und Können der Schüler aus dem obligatorischen Physikunterricht der Klasse 11 aus den Stoffeinheiten "Geometrische Optik" und "Wellenoptik" gefestigt und erweitert. Deshalb soll dieser Teillehrgang erst in den letzten 13 Wochen der Klasse 11 oder in der Klasse 12 durchgeführt werden.

Die Schüler werden eingehender mit optischen Problemen beim Bau und Einsatz optischer Geräte vertraut gemacht. Sie erkennen dabei, daß hohe Anforderungen an die optische Industrie gestellt werden und der optische Gerätebau große Bedeutung für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt hat.

In einer Einführungsstunde werden den Schülern mit Hilfe von Demonstrationsexperimenten einige Probleme bewußtgemacht, die beim Einsatz einfacher optischer Systeme auftreten können (Abbildungsfehler, Änderung des Gesichtsfeldes u. a.). Dadurch wird das Interesse geweckt, sich ausführlicher mit optischen Problemen zu beschäftigen.

Im Einführungsabschnitt werden das Brechungsgesetz und die Abbildungsgleichung für dünne Linsen wiederholt und auf Linsensysteme angewendet. Die Entstehung und Beseitigung wesentlicher Abbildungsfehler werden experimentell untersucht. Bei der Untersuchung der Vergrößerung und des Auflösungsvermögens optischer

Geräte werden die Kenntnisse über den Wellencharakter des Lichtes und über die Beugung vertieft. Die durch den wissenschaftlich-technischen Fortschritt notwendige ständige Erhöhung der Leistungsfähigkeit optischer Geräte ist den Schülern bei der Anwendung optischer Systeme in Fernrohren, medizinischen und biologischen Beobachtungsgeräten, Meßgeräten der Feinwerktechnik u. a. zu verdeutlichen. Sie sollen auch erkennen, daß durch Naturgesetze Grenzen gegeben sind (Auflösungsvermögen). Die Schüler werden am Beispiel der Entwicklung von Fernrohr und Mikroskop mit der ständigen Erweiterung und Vertiefung menschlicher Erkenntnis vertraut gemacht.
Am Beispiel der Interferenz des Lichtes an dünnen Schichten und der Polarisation vertiefen die Schüler ihre Kenntnisse über das Wellenmodell des Lichtes. Sie lernen Erscheinungen kennen, die nur mit dem Modell "transversale Welle" erklärt werden können. Auf der Grundlage ihres relativ umfangreichen Wissens aus der Optik erhalten die Schüler einen tieferen Einblick in die Theorie des Lichtes und in die historische Entwicklung dieser Theorie. Sie festigen dabei ihre Überzeugung von der Erkennbarkeit der Welt.
Der Inhalt des Teillehrgangs ist geeignet, die Leistungen der optischen Industrie der DDR herauszuarbeiten.

Inhalt des Lehrgangs

1. Vergrößerung und Auflösungsvermögen optischer Geräte

1.1. Einführung; Grundlagen optischer Abbildungen durch Linsen

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Brechungsgesetz, Brechung des Lichtes durch Linsen, Bildentstehung an Sammellinsen, Bildkonstruktion, Abbildungsgleichungen für dünne Linsen

- Überblick über die historische Entwicklung optischer Geräte, wie Fernrohr, Mikroskop, Teleskop und optische Feinmeßgeräte
- Entwicklung der Vorstellungen über das Licht
- Wiederholung $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$; $\frac{y}{y'} = \frac{s}{s'}$
- Sphärische und chromatische Aberration; deren Beseitigung durch Linsensysteme

- Brennweite von Systemen dünner Linsen $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2}$

  Hauptebenen, Hauptebenenabstand: d

  Brennweiten von Systemen sich berührender dünner Linsen $d \approx 0$

  $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$

Schülertätigkeiten

- Referieren zu den Themen:
  "Die Idee vom Sehstrahl und die Deutung der Lichtbrechung zur Zeit des Snellius" /12/
  "Isaac Newton und die Teilchenauffassung von Licht" /12/
- Deduktives Herleiten der Abbildungsgleichungen für dünne Linsen
- Experimentelles Bestimmen der Brennweite von Linsen und von Systemen dünner Linsen
- Lösen physikalisch-algebraischer Aufgaben zur Abbildung mit Einzellinsen und Linsensystemen
- Experimentelles Untersuchen der sphärischen Aberration und ihrer Beseitigung durch Linsenkombination /4/
- Experimentelles Untersuchen der chromatischen Aberration /4/

Methodische Hinweise

In der Einführung lernen die Schüler, wissenschaftstheoretische Fakten mit den Tatsachen der gesellschaftlichen und kulturellen Entwicklung der Menschheit zu verbinden. Der Lehrer gibt anhand von Zeittafeln einen Überblick über wichtige Entwicklungen optischer Geräte und über die Entwicklung der Vorstellungen von Licht. Zu dieser Thematik können Schülervorträge vergeben werden.
Eine Diskussion über die Anwendung optischer Geräte in der Praxis - Feldstecher (Militärwesen), Teleskop (Astronautik, Astronomie), Mikroskop (Medizin, Biologie), Meßprojektoren (Gütekontrolle), Theodolite und Nivelliergeräte (Landvermessung) - führt zur Systematisierung über Aufbauteile optischer Geräte.
Ausgehend von der Notwendigkeit, die Wirkung von Linsen in optischen Geräten vorauszubestimmen, werden die Gesetze für Abbildungen mit dünnen Linsen wiederholt und erweitert. Zum Brechungsgesetz und zu den Abbildungsgleichungen werden komplexe Übungsaufgaben gelöst.

Die sphärische und die chromatische Aberration bei Abbildungen mit einer Linse werden im Schülerexperiment untersucht. Möglichkeiten zur Vermeidung dieser Abbildungsfehler werden diskutiert. Bei der Berechnung der Brennweiten von Linsensystemen wird nur der Sonderfall betrachtet, bei dem die Hauptebene mit der Linsenmitte der verwendeten Linsen zusammenfällt. Berechnungsergebnisse für zweilinsige Systeme (konvex-konvex, konvex-konkav) werden im Schülerexperiment überprüft.

1.2. Vergrößerung des Sehwinkels durch optische Geräte

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Aufbau und Wirkungsweise des Mikroskops und des astronomischen Fernrohrs
Astronomie: Aufbau und Funktion des Schulfernrohrs "Telementor"

- Sehwinkel δ und Sehwinkelvergrößerung
- Vergrößerung $\Gamma = \frac{\delta}{\delta'}$
- Vergrößerung einer Lupe $\Gamma_L = \frac{s}{f_L}$; s ... deutliche Sehweite
- Vergrößerung eines Fernrohrs $\Gamma_F = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$
- Vergrößerung eines Mikroskops $\Gamma_M = \frac{t \cdot s}{f_{ob} \cdot f_{ok}}$
- Aufbau und Wirkungsweise eines Auflicht- und eines Durchlichtmikroskops, deren Einsatz in der wissenschaftlichen Forschung
- Wirkungsweise einer Feldlinse

Schülertätigkeiten

- Experimentelles Ermitteln des Sehwinkels bei der Beobachtung von Himmelskörpern
- Konstruieren des Strahlenverlaufs an Fernrohren und Mikroskopen
- Deduktives Ableiten der Gleichungen für die Vergrößerung einer Lupe, eines Fernrohrs und eines Mikroskops
- Berechnen der Vergrößerung optischer Geräte
- Experimentelles Bestimmen der Vergrößerung von Lupen, Fernrohren und Mikroskopen
- Referieren zu den Themen:
  "Die Rolle von Zeiß und Abbe für die Weiterentwicklung optischer Geräte; ihr Leben und Wirken"

"Die Bedeutung des Fernrohrs für die Überwindung des ptolemäischen Weltbildes durch Galilei und Kepler"

Methodische Hinweise

Durch Betrachten verschieden weit entfernter oder verschieden großer Gegenstände wird die Rolle des Sehwinkels δ für die Unterscheidung benachbarter Punkte erarbeitet.
Bei der Untersuchung einer Briefmarke oder eines Wassertropfens wird mit Hilfe einer Lupe eine Vergrößerung des Sehwinkels erreicht /8/. Der Begriff deutliche Sehweite wird eingeführt. Die Brennweite der Lupe und ihre Rolle für die Vergrößerung wird anhand von Skizzen über den Strahlenverlauf erläutert. Die Gleichung für die Vergrößerung einer Lupe wird deduktiv auf der Grundlage geometrischer Analysen hergeleitet. Die Schüler berechnen die Vergrößerung von Lupen und bestätigen experimentell die errechneten Werte. Um noch höhere Vergrößerungen bei der Beobachtung von Wassertropfen oder Kristallen zu erreichen, wird ein zusammengesetztes Mikroskop durch Vorsetzen eines Objektivs aufgebaut.
Der Begriff Tubuslänge t wird eingeführt und die Gleichung für die Vergrößerung eines Mikroskops deduktiv abgeleitet /2/. Experimentell wird die Vergrößerung des Schülermikroskops ermittelt. Es werden Berechnungen für die Vergrößerungen von Mikroskopen oder für die erforderlichen Brennweiten eines Okulars für eine angestrebte Vergrößerung ausgeführt /6/. Es werden die Entwicklung des Mikroskops und seine Bedeutung für die Wissenschaftsentwicklung seit dem 17. Jahrhundert diskutiert. Dabei wird über verschiedene Mikroskoptypen der Zeiss-Produktion ein Überblick gegeben.
Aus der Skizze für den Strahlenverlauf im Keplerschen Fernrohr wird die Gleichung für die Vergrößerung des Fernrohres abgeleitet /2/ /8/. Anwendungsaufgaben werden gelöst. Fernrohre werden aus Aufbauteilen durch die Schüler aufgebaut. Die Vergrößerung wird experimentell ermittelt und rechnerisch kontrolliert.

1.3. Auflösungsvermögen optischer Geräte

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Beugung des Lichtes
Hauptmaxima am Spalt: $\sin \alpha = \frac{\lambda}{b}$

- Bildpunkt an einer Linse als Beugungsscheibchen
  Beugung an kreisförmiger Öffnung $\sin \alpha = \frac{1{,}22 \cdot \lambda}{2R}$
  α ... Winkel des ersten Maximums
- Auflösungsvermögen eines Mikroskops (minimaler Abstand Δx zweier Gegenstandspunkte, die noch getrennt wahrnehmbar sind)
  $x = \frac{1{,}22 \cdot \lambda}{2 \cdot n \cdot \sin u}$; $n \cdot \sin u$ ... numerische Apertur
- Die Wirkung von Immersionslinsen
- Auflösungsvermögen eines Fernrohres (kleinster Winkelabstand zweier Sterne, die getrennt wahrnehmbar sind) und des menschlichen Auges
  $\Delta \varphi = \frac{1{,}22 \cdot \lambda}{d_{EP}}$; d_{EP} ... Durchmesser der Eintrittspupille
- Auflösungsvermögen eines Elektronenmikroskops

Schülertätigkeiten

- Experimentelles Nachweisen der Beugung am Spalt und an der Lochblende
- Deduktives Ableiten der Beziehung für die Winkel bei einer Beugung am Spalt der Breite b
- Lösen von Aufgaben zum Auflösungsvermögen des menschlichen Auges und von astronomischen Fernrohren
- Ableiten der Beziehung für geringsten auflösbaren Abstand Δx beim Mikroskop

Methodische Hinweise

Im Lehrervortrag wird erläutert, daß das Ziel, immer feinere Strukturen (z. B. Tuberkelbazillus) zu erkennen, erst mit dem Abbeschen Mikroskop durch ausreichende Trennung dicht benachbarter Punkte eines Objekts (Δx) erreicht wurde.
Es wird der Begriff Auflösungsvermögen eingeführt. Die Ursache für die Begrenzung des Auflösungsvermögens wird experimentell mit Hilfe der Beugung am Spalt und an einer kreisförmigen Lochblende aufgeklärt. Die Schüler leiten anhand einer Skizze die

Beziehung für die Winkel bei einer Beugung am Spalt ab. Es werden Anwendungsaufgaben für die Beugung am Spalt gelöst. Der Lehrer erläutert anhand einer Skizze das Auftreten verschiedener Helligkeitsmaxima und gibt den Schülern die Beziehung $\sin \alpha = \frac{1{,}22\ \lambda}{2R}$ für den Sonderfall der Beugung an einer kreisförmigen Öffnung /8/.
Dieser Sachverhalt wird auf die Beugung an der Eintrittspupille des Auges (d_{EP}) übertragen. Es wird das Auflösungsvermögen für ein Mikroskop abgeleitet. Der Begriff numerische Apertur eines Mikroskopes wird eingeführt und die Beeinflussung des Auflösungsverhältnisses durch die numerische Apertur und die Wellenlänge der verwendeten Strahlung werden diskutiert (Immersionslinse; Elektronenmikroskopie). Die Schüler lösen Anwendungsaufgaben zum Auflösungsvermögen des Auges und von Mikroskopen.
Für das Fernrohr wird der Begriff Auflösungsvermögen, bezogen auf die Aufgaben von Fernrohren, präzisiert (kleinster Winkelabstand zweier Objekte).
Die Schüler berechnen das Auflösungsvermögen verschiedener Fernrohre. Es wird auf die Rolle der Objektivdurchmesser für das Auflösungsvermögen und die damit zusammenhängenden Probleme (große Spiegel und Linsen) eingegangen.

2. Interferenz des Lichtes durch Reflexion

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Welleneigenschaften des Lichtes, Interferenz als welllentypische Erscheinung, Erzeugung kohärenten Lichtes

- Wiederholung: Erzeugung von kohärentem Licht durch Reflexion
- Strahlengang an einer planparallelen Platte, Gangunterschied und Phasensprung
- Interferenz an dünnen Schichten
  - Verstärkung $d_V = (2m - 1)\ \frac{\lambda_o}{4n}$ $\quad (m = 1, 2, 3 \ldots)$
  - Auslöschung $d_A = 2m \cdot \frac{\lambda_o}{4n}$ $\quad \lambda_o$ ... Wellenlänge im Vakuum
- Anwendung der Interferenz an dünnen Schichten
  - Oberflächenvergütung optischer Linsen
  - Interferenzfilter
  - Interferometer

Schülertätigkeiten

- Zeichnen des Strahlengangs an einer planparallelen Platte
- Untersuchen der Interferenzerscheinungen an einer Seifenwasserhaut bei monochromatischem und natürlichem Licht
- Erklären der Interferenz an dünnen Schichten
- Beschreiben und Erklären von Anwendungen der Interferenz an dünnen Schichten

Methodische Hinweise

Zur Motivation für die Abschnitte 2. und 3. dieses Teillehrgangs wird den Schülern im Lehrervortrag erläutert, daß die im obligatorischen Unterricht erarbeiteten optischen Gesetzmäßigkeiten nicht ausreichen, um eine Reihe optischer Erscheinungen erklären zu können, wie z. B. das farbige Schillern von dünnen Ölschichten oder das Auslöschen von Licht beim Durchleuchten von zwei durchsichtigen Materialien (Demonstrationsexperiment mit zwei Polarisationsfiltern).
Bei der Auswertung des Strahlengangs an einer planparallelen Platte können Vermutungen geäußert werden, wann es in Abhängigkeit von der Plattendicke zur Auslöschung bzw. Verstärkung des Lichtes kommt. Dazu sind auch Hinweise zur Intensitätsverteilung zwischen gebrochenem und reflektiertem Licht zu geben. Die Vermutung kann an einer dünnen Seifenhaut überprüft werden, die im auffallenden Licht schwarz erscheint. Da die Erklärung dieser Erscheinung nur unter Einbeziehung des Phasensprunges erfolgen kann, wird dieser vom Lehrer am Beispiel von Seilwellen demonstriert und erläutert /5/.
Die Interferenzgleichungen sollten von den Schülern möglichst selbständig erarbeitet werden, wobei vom Lehrer ein Hinweis auf die Abhängigkeit der Wellenlänge von der Brechzahl des Mediums zu geben ist.

3. Polarisation des Lichtes

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Welleneigenschaften des Lichtes, Brechungsgesetz, Welle-Teilchen-Eigenschaften des Lichtes, Hertzsche Wellen

- Transversale und longitudinale Wellen, linear polarisierte Welle

- Licht als Transversalwelle. Polarisation durch Filter
- Polarisation durch Reflexion und Brechung
- Brewstersches Gesetz
- Polarisation durch Doppelbrechung am Beispiel des Kalkspats; Hinweis auf den Kerr-Effekt, Modulation von Licht
- Drehung der Schwingungsebene des polarisierten Lichtes durch optisch aktive Stoffe
- Anwendungen zur Polarisation des Lichtes
  . Polarimeter
  . Polarisationsmikroskop
  . Spannungsdoppelbrechung
- Historische Entwicklung der Vorstellungen vom Wesen des Lichtes

Schülertätigkeiten

- Experimentelles Bestimmen des Polarisationswinkels bei der Reflexion
- Aufbauen eines Polarimeters zur Bestimmung des Zuckergehalts einer Zuckerlösung, Eichen des Polarimeters
- Beschreiben und Erklären von Anwendungen der Polarisation
- Erläutern, daß Licht Eigenschaften elektromagnetischer Wellen besitzt, Zusammenfassen der Welle-Teilchen-Eigenschaften des Lichtes

Methodische Hinweise

Die Begriffe longitudinale und transversale Welle sind an mechanischen Modellen zu erarbeiten. Die lineare Polarisierung sollte experimentell mit Hilfe von Seilwellen gezeigt werden /11/. Dabei sind bereits die Begriffe Polarisator und Analysator einzuführen. Das im vorangegangenen Abschnitt empfohlene Einführungsexperiment, bei dem Licht beim Durchgang durch zwei Polarisationsfilter ausgelöscht wird, kann jetzt erklärt werden. Dabei ist von der Annahme auszugehen, daß Lichtwellen transversal schwingen und deshalb polarisierbar sind. Für die anschließenden Untersuchungen zur Polarisation des Lichtes werden Polarisationsfilter benötigt. Ihre Funktion ist in einfacher Form zu erläutern.
Das Brewstersche Gesetz ist vom Lehrer zu geben und anschließend im Schülerexperiment zu bestätigen. Bei der Doppelbrechung ist auf den elektrischen Kerr-Effekt und dessen Eignung für die Ampli-

tudenmodulation von Lichtwellen einzugehen, ohne technische Einzelheiten zu betonen. Die Experimentieranordnung zur Bestimmung des Zuckergehalts einer Lösung sollte von den Schülern weitgehend selbständig entwickelt werden.
Die aufgeführten Anwendungen sind schwerpunktmäßig zu behandeln. Das Wissen der Schüler aus dem obligatorischen Physikunterricht über das Welle-Teilchen-Verhalten des Lichtes und über elektromagnetische Wellen ist nach der Behandlung der Polarisation weiter zu systematisieren. Damit sind die Grundlagen geschaffen, in einem Lehrervortrag einen Überblick über die Entwicklung der Vorstellungen vom Wesen des Lichtes zu geben, damit die Schüler einen Einblick in die Entwicklung physikalischer Theorien erhalten.

Literatur

L /1/ Recknagel, A.: Physik. Optik. VEB Verlag Technik, Berlin 1981.

L /2/ Grimsehl, E.: Lehrbuch der Physik. Band 3. Optik. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1982.

L S /3/ Kretschmar, Mende, Wollmann: Physikalisches Praktikum. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1980.

L S /4/ Sprockhoff, G. (Hrsg.): Physikalische Schulversuche. Siebenter Teil. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.

L S /5/ Sprockhoff, G. (Hrsg.): Physikalische Schulversuche. Zehnter Teil. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1982.

L S /6/ Autorenkollektiv: Physik - Verstehen durch Üben. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /7/ Lindner, H.: Physikalische Aufgaben. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /8/ Hänsel, Neumann: Physik. Band III und IV. Eine Darstellung der Grundlagen. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1973.

L S /9/ Herrmann, D. B.: Vom Schattenstab zum Riesenspiegel. Verlag Neues Leben, Berlin 1982.

L S /10/ Pforte, H.: Feinoptiker. Teil 2. VEB Verlag Technik, Berlin 1979.

L S /11/ Physik. Lehrbuch für die Klasse 11. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin Ausgabe 1969.

L S /12/ Rodischen/Frankfurt: Die Schöpfer der physikalischen Optik. Akademie-Verlag, Berlin 1977.

L S /13/ Esche, P. G.: Ernst Abbe. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1963.

L S /14/ Bonnke, Lehr, Schleplitz: Wir mikroskopieren. VEB Verlag Technik, Berlin 1973.

L S /15/ Krötzsch, M. (Hrsg.): Physikalisches Praktikum für Anfänger. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1982.

Teillehrgang 5

Elektrizitätslehre

Stoffübersicht

1. Einführung	2 Stunden
2. Elektrische Ladungen im Vakuum	5 Stunden
3. Elektrische Ladungen auf Leitern	4 Stunden
4. Dielektrische Eigenschaften der Stoffe	4 Stunden
5. Der geschlossene Gleichstromkreis	5 Stunden
6. Anwendungen der Grundgesetze des Gleichstromkreises	5 Stunden

Vorbemerkungen

In diesem Teillehrgang wird das Wissen und Können der Schüler über die Elektrostatik und den Gleichstromkreis aus dem obligatorischen Physikunterricht der Klassen 8 und 9 gefestigt, erweitert und vertieft. Das Ziel des Lehrgangs besteht vor allem darin, den Schülern die Vielfalt der auf elektrostatischen Gesetzmäßigkeiten und Gesetzmäßigkeiten des Gleichstromkreises beruhenden Erscheinungen und Anwendungen in der Natur, im täglichen Leben und in der Technik bewußtzumachen. Sie sind zu befähigen, durch Anwendung physikalischer Methoden der Erkenntnisgewinnung Gesetzmäßigkeiten zu finden und diese bei der Lösung physikalisch-algebraischer Aufgaben, qualitativer Denkaufgaben sowie praktischer Aufgabenstellungen anzuwenden.
Zur Motivierung und Einführung wird ein Überblick über die historische Entwicklung der Kenntnisse und Vorstellungen über elektrostatische Felder und ihre bewußte Anwendung in der Technik gegeben.
Zur einfacheren Beschreibung elektrostatischer Felder wird der Begriff des elektrischen Potentials eingeführt und auf das homogene Feld und Punktladungsfeld angewendet. Der Äquipotentiallinienverlauf in elektrischen Feldern wird mit dem elektrolytischen Trog untersucht und dient als Grundlage zur Erklärung der Wirkungsweise elektrostatischer Immersionslinsen. Zur Erklärung von Spitzenentladungen, der Wirkungsweise des Faradaykäfigs und des van-de-Graaff-Generators untersuchen die Schüler expe-

rimentell die Ladungsverteilung, die Feldstärke und das Potential am geladenen Leiter und analysieren das Verhalten von Leitern im elektrostatischen Feld.
Die Schüler erweitern und vertiefen ihre Kenntnisse über Kondensatoren durch die quantitative Fassung der Kapazität eines Plattenkondensators und der Energie des elektrostatischen Feldes.
Das Verhalten von Dielektrika im elektrostatischen Feld wird durch die Beschreibung der elektrischen Feldstärke im Dielektrikum erfaßt und durch die Polarisation erklärt.
Eine Problemstellung führt zur Notwendigkeit, das Bauelement Spannungsquelle in die Betrachtungen über den Gleichstromkreis einzubeziehen. Das Ohmsche Gesetz wird für den geschlossenen Gleichstromkreis präzisiert. Urspannungen werden experimentell bestimmt, die Stromstärke-Spannung-Kennlinie einer Gleichspannungsquelle aufgenommen und die Bedingungen für die maximale Leistungsaufnahme eines Energiewandlers in Abhängigkeit von der Quelle untersucht. Die Gesetzmäßigkeiten des Gleichstromkreises werden bei der gemischten Schaltung von Widerständen, der Meßbereichserweiterung von Strom- und Spannungsmessern, der Bestimmung unbekannter Widerstände mit der Wheatstoneschen Brücke sowie der Reihen- und Parallelschaltung von Spannungsquellen angewendet.

Inhalt des Lehrgangs

1. Einführung

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Kräfte zwischen geladenen Körpern; elektrisches Feld (Beschreibung, Darstellung, Eigenschaften); elektrische Spannung

- Elektrostatische Felder
  - Historische Entwicklung der Kenntnisse und Vorstellungen
  - Elektrostatische Felder in Natur und Technik
- Darstellung elektrostatischer Felder; elektrische Feldstärke; Coulombsches Gesetz

Schülertätigkeiten

- Werten von Vorstellungen über elektrostatische Felder
- Interpretieren von Feldlinienbildern

- Lösen von Aufgaben zum Coulombschen Gesetz
  . Vergleichen von Coulombschen Kräften und Gravitationskräften
  . Begründen der Grenzen des Modells Punktladung

Methodische Hinweise

Im Lehrervortrag wird die historische Entwicklung der Kenntnisse über elektrostatische Felder dargestellt. Dabei ist der Bezug zur strömenden Elektrizität herzustellen /8/ /9/ /10/.
Die Schüler können zur Anfertigung einer Zeittafel angeregt werden.
Um die Schüler für die Themen des Teillehrgangs zu motivieren, sollten Fragen aus dem Alltag aufgegriffen werden (z. B. Blitzeinschlag in Autos oder Flugzeuge, Starten eines Autos mit Flachbatterien). Auch andere Erscheinungen, wie die Wirkung elektrischer Felder auf Papierzeiger und ungeladene Metallkörper oder das Auftreten von Mustern beim Feldelektronenmikroskop sind geeignet, Problemfragen aufzuwerfen. Beim Herausarbeiten der Problemfragen sollten folgende Demonstrationsexperimente einbezogen werden: Die abschirmende Wirkung eines Faradaykäfigs, die Aufladung eines Elektroskops durch Influenz, das Sinken der Klemmenspannung einer Spannungsquelle und das Prinzip eines Feldelektronenmikroskops /11/ /13/ /14/.

2. Elektrische Ladungen im Vakuum

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Elektrische Feldstärke $\vec{E}$, $E = \frac{F}{Q}$; Elektrische Spannung $U = \frac{W}{Q}$;
Grafische Veranschaulichung elektrischer Felder durch Feldlinien;
Arbeit $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$

- Elektrische Feldstärke im Feld um eine Punktladung

$$E = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2}$$

- Überlagerung elektrischer Felder am Beispiel des Feldes um Punktladungen $\vec{E} = \sum_i \vec{E}_i$
- Unabhängigkeit der Arbeit der Feldkräfte an einer Probeladung von der Form des zurückgelegten Weges zwischen zwei Punkten eines elektrostatischen Feldes

- Potentielle Energie einer Probeladung in einem Punkt des homogenen elektrostatischen Feldes $W_{pot} = Q \cdot E \cdot s$, s ... senkrechter Abstand von der negativen Kondensatorplatte
- Elektrisches Potential in einem Punkt eines elektrostatischen Feldes $\varphi = \frac{W_{pot}}{Q}$

  im homogenen Feld $\varphi = E \cdot s$

  im Feld um eine Punktladung $\varphi = \frac{Q}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r}$
- Spannung als Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten

  $\varphi_A - \varphi_B = \frac{W_{pot\ A}}{Q} - \frac{W_{pot\ B}}{Q}$, $\Delta\varphi = U_{AB}$
- Darstellung verschiedener elektrostatischer Felder durch Feld- und Äquipotentiallinien

Schülertätigkeiten

- Grafisches Darstellen des Feldes um eine Punktladung mit Vektorpfeilen $\vec{E}$
- Deduktives Nachweisen der Unabhängigkeit der Arbeit der Feldkräfte an einer Probeladung von der Form des Weges
- Diskutieren des Zusammenhangs zwischen der Arbeit der Feldkräfte an einer Probeladung und der Änderung ihrer potentiellen Energie im Feld
- Begründen, daß Feld- und Äquipotentiallinien senkrecht aufeinander stehen
- Experimentelles Bestimmen der Äquipotentiallinien eines elektrischen Feldes
- Erklären der Bündelung von Elektronenstrahlen in Elektronenstrahlröhren mit Hilfe des Äquipotentiallinienverlaufs zwischen zwei Zylinderelektroden
- Lösen von Aufgaben zu Feldstärke-, Potential-, Spannungs- und Arbeitsberechnungen in Punktladungsfeldern und homogenen Feldern

Methodische Hinweise

Die Gleichung für die elektrische Feldstärke im Feld um eine Punktladung wird mit Hilfe des Coulombschen Gesetzes theoretisch hergeleitet und ihr Gültigkeitsbereich diskutiert. Ausgehend von der Frage nach der Ursache der Entstehung der ver-

schiedenen Formen der Feldlinienbilder wird die Überlagerung elektrostatischer Felder erörtert.

Zur Motivierung der Betrachtungen über die Arbeit der Feldkräfte an Probeladungen im Feld kann von einem Perpetuum mobile ausgegangen werden. Die Schüler analysieren die Arbeit der Feldkräfte an einer positiven Probeladung bei ihrer Verschiebung im homogenen Feld eines Plattenkondensators und -qualitativ - im Feld einer positiven Punktladung. Dabei ist von der Gleichung für die mechanische Arbeit auszugehen. Die nachfolgenden Betrachtungen zur potentiellen Energie einer Probeladung im elektrischen Feld erfolgen im Lehrervortrag in einer Gegenüberstellung des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators und des Gravitationsfeldes an der Erdoberfläche. Der negativen Kondensatorplatte wird der Energiewert Null zugeordnet. Die Erarbeitung des Potentialbegriffs erfolgt zunächst am Beispiel des homogenen Feldes. Der Zusammenhang zwischen Potentialdifferenz und Spannung wird über die Gleichheit von Energiedifferenz und Arbeit der Feldkräfte an einer Probeladung gewonnen. Es wird darauf hingewiesen, daß man unter einem Potential in einem Punkt des elektrischen Feldes die Spannung zwischen diesem Punkt und dem Ort des Nullpotentials (in der Elektrotechnik häufig das Erdpotential) versteht.

Zur deduktiven Herleitung der Gleichung für das Potential im Feld einer Punktladung wird der mittlere Wert der Kraft auf eine Probeladung bei ihrer Verschiebung im Punktladungsfeld längs einer Feldlinie verwendet. Die Möglichkeit des Findens einer solchen Kraft wird an einem Arbeitsdiagramm erörtert. Auf die Bedeutung des geometrischen Mittels dieser Kraft wird hingewiesen.

Der Potentialverlauf in elektrischen Feldern wird mit einem ebenen elektrolytischen Trog untersucht. Dabei wird das Äquipotentiallinienbild einer Immersionslinse aufgenommen /5/.

Bei der Lösung von Aufgaben zu Punktladungsfeldern ist die Bedeutung des Potentialbegriffs anhand der algebraischen Addition von Einzelpotentialen zu einem Gesamtpotential hervorzuheben.

3. Elektrische Ladungen auf Leitern

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Atomarer Aufbau von Metallen; Leitungsvorgänge in Leitern; Elektrometer; Bandgenerator

- Ladungsverteilung auf elektrisch geladenen Leitern
- Potential und Feldstärke im Inneren und auf der Oberfläche elektrisch geladener Leiter
- Spitzenentladungen
- Influenz
- Faradaykäfig
- Van-de-Graaff-Generator

Schülertätigkeiten

- Experimentelles Ermitteln der Ladungsverteilung, der Feldstärke und des Potentials an einem geladenen Leiter
- Erklären der Ladungsverteilung, der Feldfreiheit im Inneren und der Gleichheit der Potentiale im Inneren und auf der Oberfläche geladener Leiter
- Erklären, daß die Feldlinien senkrecht auf geladenen Leiteroberflächen beginnen oder enden
- Erklären von Spitzenentladungen
- Entwickeln und Erproben eines Modells für ein elektrostatisches Rauchgasfilter
- Referieren zum Thema:
  "Anwendung der Influenz bei der Trocknung von Gebäudewänden" /12/
- Diskutieren des Einsatzes von Faradaykäfigen zur inneren und äußeren Abschirmung elektrostatischer Felder
- Erklären des Funktionsprinzips eines van-de-Graaff-Generators und Erörtern seines Einsatzes als Teilchenbeschleuniger
- Lösen von Denkaufgaben zu den Eigenschaften geladener Leiter und zur Influenz

Methodische Hinweise

Die Eigenschaften geladener Leiter werden in getrennt-gemeinschaftlicher Arbeitsweise gewonnen. Einige Schülergruppen untersuchen die Ladungsverteilung und das Potential an einem geladenen Faradaybecher /15/. Die anderen Schülergruppen weisen die

Feldfreiheit im Inneren des Bechers mit einem elektrischen Pendel nach. Ausgehend vom Feldlinienbild eines Faradaybechers oder Würfelmodells gewinnen sie Aussagen über die Stärke des elektrischen Feldes an der Oberfläche geladener Leiter sowie über den Verlauf der Feldlinien /13/.
Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der Erklärung von Spitzenentladungen, wie Sankt-Elms-Feuer, elektrischer Wind, Feldelektronenmikroskop, Blitzableiter, Verwendung von Hohl- und Bündelleitungen bei der Hochspannungsübertragung /4/ /11/ /13/ /14/.
Im Zusammenhang mit dem Modell einer elektrostatischen Gasreinigungskammer werden Probleme des Umweltschutzes diskutiert.
Zur Analyse des Verhaltens von Leitern im elektrostatischen Feld kann von der Notwendigkeit der Abschirmung eines Kugelkonduktorfeldes in Hochspannungslaboratorien ausgegangen werden. Die Schüler sollen das Wesen der Influenz selbständig erkennen. Dazu kann vom Feldlinienbild eines Plattenkondensators, in dem sich eine ungeladene Metallhohlkugel befindet, oder der Influenz an Metallzylindern ausgegangen werden /13/.
In einem Demonstrationsexperiment wird die betragsmäßige Gleichheit der influenzierten Ladung auf zwei Ladungslöffeln gezeigt /13/. Im Anschluß an einen Schülervortrag zur praktischen Anwendung der Influenz wird auf die Bedeutung der Werterhaltung von Altbausubstanzen im Rahmen des Wohnungsbauprogramms in der DDR eingegangen.
Zur Erklärung der Funktionsweise des van-de-Graaff-Generators können die Saugwirkung von Spitzen, die Entladung von geladenen Körpern in Konduktoren oder die Aufladung eines Konduktors über die Spannung einer Quelle demonstriert werden /1/ /4/ /13/.

4. Dielektrische Eigenschaften der Stoffe

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Kapazität $C = \frac{Q}{U}$; Abhängigkeit der Kapazität eines Plattenkondensators von seinen geometrischen Abmessungen und vom Dielektrikum; Kondensator als Speicher von Feldenergie; atomarer Aufbau von Isolatoren

- Abhängigkeit der Kapazität eines Plattenkondensators von seinen geometrischen Abmessungen und vom Dielektrikum,

$C_v = \varepsilon_o \frac{A}{d}$, $C = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$, relative Dielektrizitätskonstante $\varepsilon_r = \frac{C}{C_v}$

- Elektrische Feldstärke im Dielektrikum $E = \frac{E_v}{\varepsilon_r}$
- Verschiebungs- und Orientierungspolarisation im Dielektrikum
- Energie des elektrostatischen Feldes $W = \frac{Q \cdot U}{2}$
- Gesamtkapazität bei der Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$; $C = \sum_i C_i$

Schülertätigkeiten

- Deduktives Herleiten der Gleichung $E = \frac{E_v}{\varepsilon_r}$
- Entwickeln von Modellvorstellungen zur Feldabschwächung im Dielektrikum
- Interpretieren von ε_r mit Hilfe der Polarisation
- Vergleichen des Verhaltens von Leitern und Nichtleitern im elektrischen Feld
- Deduktives Herleiten der Gleichung für die Energie eines elektrostatischen Feldes
- Experimentelles Ermitteln der Gesamtkapazität bei der Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren
- Lösen von physikalisch-algebraischen Aufgaben zu den behandelten Gleichungen und von Denkaufgaben zur Polarisation

Methodische Hinweise

Nach der Wiederholung des Kapazitätsbegriffs wird im Demonstrationsexperiment die Abhängigkeit der Kapazität eines Plattenkondensators von seinen geometrischen Abmessungen und vom Dielektrikum erarbeitet /13/ /15/ /19/. Die vollständige Gleichung für die Kapazität eines Plattenkondensators wird den Schülern gegeben.
Die Eigenschaften der Dielektrika, das elektrische Feld in einem Kondensator abzuschwächen (Q = konst.), wird quantitativ erfaßt. Dabei und im Zusammenhang mit der Ausrichtung von Papierfähnchen im elektrischen Feld werden die Schüler motiviert, nach Erklärungen für diese Sachverhalte zu suchen /1/ /2/. Der Feldverlauf im Dielektrikum wird modellmäßig demonstriert. Die Bedeutung

von ε_r für die Isoliertechnik und den Kondensatorbau wird erörtert, wobei auf die Durchschlagfestigkeit von Dielektrika eingegangen werden kann.
Zur quantitativen Beschreibung der Energie des elektrischen Feldes ist von der Überlegung auszugehen, daß die Arbeit beim Aufbau eines Kondensatorfeldes als Energie im Feld gespeichert wird. Unter Vernachlässigung der Arbeit zur eigentlichen Ladungstrennung berechnen die Schüler die Arbeit, die notwendig ist, um eine Platte eines geladenen Plattenkondensators im Feld der anderen Platte zu verschieben.
Die Gesamtkapazität bei der Schaltung von Kondensatoren wird mit Elektrolytkondensatoren (20 μ F und 50 μ F) und einem als ballistisches Galvanometer eingesetzten Schülermeßgerät (Polytest) untersucht. Das Meßgerät kann vorher auf Ladungsmessung geeicht werden /13/.

5. Der geschlossene Gleichstromkreis

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Gleichstromkreis; Gesetzmäßigkeiten der Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen; Stromstärke, Spannung, Arbeit, Leistung, Energie; Spannungsquellen; Energieumwandlungen im Stromkreis; allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorgangs

- Wiederholung der Grundbegriffe und Gesetzmäßigkeiten des Gleichstromkreises
- Urspannung U_o, Klemmenspannung U_{Kl} und innerer Widerstand R_i einer Spannungsquelle
- Ersatzschaltbild einer Gleichspannungsquelle
- Spannungsabfall entlang eines Widerstandes $U = R \cdot I$, innerer und äußerer Spannungsabfall $U_i = R_i \cdot I$ bzw. $U_{Kl} = R_a \cdot I$
- Ohmsches Gesetz des geschlossenen Gleichstromkreises
  $U_o = (R_a + R_i)\, I$
- Kurzschlußstrom $I_K = \frac{U_o}{R_i}$
- Messen von Urspannungen, Kompensationsmethode
- Stromstärke-Spannung-Kennlinie einer Gleichspannungsquelle
  $U_{Kl} = f(I)$, $U_{Kl} = -R_i \cdot I + U_o$
- Anpassung zwischen Energiewandler und Spannungsquelle

Schülertätigkeiten

- Lösen von Aufgaben zum Ohmschen Gesetz des geschlossenen Gleichstromkreises
- Experimentelles Bestimmen der Urspannungen von Gleichspannungsquellen
- Experimentelles Aufnehmen der Stromstärke-Spannung-Kennlinie einer Gleichspannungsquelle und Berechnen des inneren Widerstandes und der Kurzschlußstromstärke anhand der Kennliniendaten
- Experimentelles Bestimmen der Bedingungen für die maximale Leistungsaufnahme eines Energiewandlers von der Quelle (Anpassung) /3/
- Diskutieren der angestrebten Größenverhältnisse von R_i und R_a aus der Sicht des Wirkungsgrades und der übertragenen Leistung bei der Energieversorgung und der Signalübertragung /3/

Methodische Hinweise

Bei der Wiederholung zum Gleichstromkreis wird darauf hingewiesen, daß die Spannung an den Polen einer Spannungsquelle eine Potentialdifferenz im elektrostatischen Sinne darstellt. Bei der Lösung von Aufgaben werden Potentialberechnungen mit einbezogen. Dazu wird festgelegt, daß in einer nicht geordneten Schaltung dem negativen Pol der Spannungsquelle das Potential Null zugeordnet wird.

Zur Motivation der Einbeziehung des aktiven Bauelementes Spannungsquelle in die Betrachtungen über den Gleichstromkreis können z. B. dienen:

a) Demonstration des Verhaltens der Spannung einer Gleichspannungsquelle bei Belastung /13/
b) Problemstellung: Warum liefert eine Batterie nicht entsprechend dem Ohmschen Gesetz eine fast unbegrenzte Stromstärke, wenn der Anschlußwiderstand gegen Null geht?

Die Schüler sollen durch Analyse der Problemsituation direkt auf das Auftreten einer weiteren Teilspannung bzw. eines strombegrenzenden Widerstandes im Stromkreis schließen und das Ohmsche Gesetz entsprechend präzisieren. In der Diskussion werden dabei die notwendigen Fachbegriffe eingeführt.

Im Zusammenhang mit den Methoden zur Messung der Urspannung wird die Frage der praktischen Realisierbarkeit der elektrostatischen, elektrodynamischen und Kompensationsmessung diskutiert, wobei Gemeinsamkeiten der Schaltungen und die Frage entstehender Meßfehler einbezogen werden. Die Schüler sollen erkennen, daß in der in /7/ angegebenen Schaltung der urspannungsäquivalente Spannungsabfall auch direkt mit einem elektrodynamischen Spannungsmesser gemessen werden kann.
Zur Motivation der Untersuchungen zur Anpassung kann von der Problemstellung ausgegangen werden, daß es für Transistorradios und Taschenlampen unterschiedliche Arten von Monozellen der Urspannung 1,5 Volt gibt.

6. Anwendungen der Grundgesetze des Gleichstromkreises

Grundlagen aus dem obligatorischen Unterricht:
Gesetzmäßigkeiten des Gleichstromkreises

- Gesetze für die Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen
  $R = \sum_i R_i$; $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$
- Gemischte Schaltung von Widerständen
- Bestimmung unbekannter Widerstände mit der Wheatstoneschen Brücke
- Erweiterung des Meßbereiches von Strom- und Spannungsmessern
  $R_S = \frac{R_i}{n-1}$; $R_V = (n-1)\ R_i$
- Reihen- und Parallelschaltung von gleichartigen Spannungsquellen (Gesamturspannung, Gesamtinnenwiderstand, Stromstärke)

Schülertätigkeiten

- Berechnen gemischter Widerstandsschaltungen und experimentelles Bestätigen der Ergebnisse
- Experimentelles Bestimmen von unbekannten Widerständen mit der Wheatstoneschen Brücke
- Deduktives Herleiten und experimentelles Bestätigen der Gesetzmäßigkeiten für die Erweiterung des Meßbereiches von Strom- und Spannungsmessern
- Experimentelles Bestätigen der Gesetzmäßigkeiten für die Reihen- und Parallelschaltung von Spannungsquellen

- Diskutieren der sinnvollen Anwendung für eine Reihenschaltung ($R_a \gg R_i$) und eine Parallelschaltung ($R_a \ll R_i$) von Spannungsquellen
- Lösen komplexer Aufgaben zum Gleichstromkreis

Methodische Hinweise

Die Schüler sollen mit einem hohen Grad an Selbständigkeit ihre Kenntnisse aus dem obligatorischen Unterricht und aus dem Planabschnitt 5 des Teillehrgangs zum Erwerb neuer Erkenntnisse einsetzen.
Bei den Experimenten zur Schaltung von Widerständen, zur Meßbereichserweiterung und Schaltung von Spannungsquellen kann getrennt-gemeinschaftlich mit anschließender Ergebnisdarstellung vorgegangen werden.
Benötigte Widerstände werden gegebenenfalls durch entsprechende Schaltung von Einzelwiderständen oder durch Drahtwiderstände realisiert.

Literatur

L S /1/ Recknagel, A.: Physik. Elektrizität und Magnetismus. VEB Verlag Technik, Berlin 1980.

L /2/ Grimsehl, E.: Lehrbuch der Physik. Band 2. Elektrizitätslehre. BSB B. G. Teubner Verlagsgesellschaft 1980.

L /3/ Körner, W.: Physik - Fundament der Technik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1980.

L S /4/ Brockhaus. ABC Naturwissenschaft und Technik. VEB F. A. Brockhausverlag, Leipzig 1980.

L S /5/ Brockhaus. ABC Physik. VEB F. A. Brockhausverlag, Leipzig 1973.

S /6/ Tarassow, Tarassowa: Physik im Zwiegespräch. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /7/ Richter, Schreier, Träger, Wendt: Elektrische Messung nichtelektrischer Größen. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978.

L /8/ Rydnik, W. I.: Vom Äther zum Feld. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1979.

L S /9/ Conrad, U.: Erfinder - Erforscher - Entdecker. Urania-Verlag, Leipzig-Jena-Berlin 1981.

S /10/ Backe, H.: Rund um die Physik. Der Kinderbuchverlag, Berlin 1979.

L /11/ Zemke, W.: Millionen Volt und mehr. In: "Jugend und Technik", Heft 9/1980.

S /12/ Scholz, R.: Ladungskompensation gegen Mauernässe. In: "Jugend und Technik", Heft 5/1974.

L S /13/ Brunstein, Fischer, Hein, Paucker: Physikalische Schulversuche. Sechster Teil. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1977.

L /14/ Wilke, H.-J. (Hrsg.): Physikalische Schulversuche. Elfter Teil, Aufbau der Stoffe. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1979.

L S /15/ Fleischer, F.: Bedien- und Experimentieranleitung-Gerätesatz Elektrostatik. VEB Polytechnik, Karl-Marx-Stadt.

L S /16/ Autorenkollektiv: Übungen zur Physik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /17/ Lindner, H.: Physikalische Aufgaben. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L S /18/ Lindner, H.: Elektro-Aufgaben. Band I. Gleichstrom. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1981.

L /19/ Abend, V.: Zur experimentellen Behandlung der Kapazität eines Plattenkondensators, Klasse 9. In: "Physik in der Schule", Heft 11/1979.

A u s s t a t t u n g s p l a n

für Unterrichtsmittel der erweiterten allgemeinbildenden polytechnischen Oberschule der DDR

Fakultativer Unterricht Klassen 11 und 12

Lehrgang Klassische Physik

Hinweise zum Ausstattungsplan

Der Ausstattungsplan enthält alle für die Durchführung des Lehrgangs notwendigen Unterrichtsmittel.
Bis auf die mit "N" gekennzeichneten Positionen wurden diese Unterrichtsmittel für den obligatorischen Unterricht bzw. die außerunterrichtliche Arbeit entwickelt und befinden sich bereits an den Einrichtungen.
Sie können im Bedarfsfall beim Staatlichen Kontor für Unterrichtsmittel und Schulmöbel bezogen werden. Die Bestell-Nr. ist den jeweils gültigen Bestellunterlagen zu entnehmen.
Die mit "N" gekennzeichneten Positionen sind Neuentwicklungen. Die Ausstattung der Einrichtung erfolgt nach Abschluß der Entwicklung und Aufnahme der Produktion aus dem zentralen Fonds des Ministeriums für Volksbildung.
Für die ordnungsgemäße Erfassung der Unterrichtsmittel an der Einrichtung gelten die im "Gesamtausstattungsplan für Unterrichtsmittel der erweiterten allgemeinbildenden polytechnischen Oberschule" getroffenen Festlegungen.

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
1. Filme							
1.1. 16 mm-Filme							
F 845 Bau und Funktion des Auges				x		KfU	
1.2. 8 mm-Filme							
keine							
2. Lichtbildreihen und Diafilme							
2.1. Lichtbildreihen							
R 411 Bilder aus der Geschichte der Luftfahrt			x			KfU	
2.2. Diafilme							
keine							
3. Tonbildreihen und Tondiafilme							
keine							
4. Magnettonbänder							
keine							
5. Schallplatten							
keine							
6. Projektionsfolien							
Bildentstehung an Sammellinsen				x		FUR Ph[1)]	1) aus Fachunterrichtsraum Physik mitnutzen

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
Aufbau und Funktion des astronomischen Fernrohrs				x		FUR Ph	
7. Anschauungstafeln und Anschauungsbilder							
Strahlengang im Mikroskop				x		FUR Ph	
8. Karten							
keine							
9. Applikationen							
Satz Applikationen Physik (Grundausstattung)					x	N	
10. Geräte und Modelle							
10.1. Allgemeines							
Universal-Experimentiermotor	x	x				FUR Ph	
Präzisionsstativmaterial Grundausstattung I	x	x	x	x	x	FUR Ph	
Grundausstattung II	x	x	x	x	x	FUR Ph	
Zusatzausstattung zum Präzisionsstativmaterial	x	x	x	x	x	FUR Ph	
Kippeinrichtung für den Lichtschreibprojektor			x			FUR Ph	
Gerätesatz zur Vertikalprojektion (Auswahl) (Diapaneele)			x			FUR Ph	
10.2. SEG-System							
SEG-Mechanik		x			x	FUR Ph	
SEG-Mechanik Ergänzung EOS Vorrichtung für Drehbewegungen		x				FUR Ph	

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
SEG Optik 1 Grundgerät "Geometrische Optik"				x	x	FUR Ph	
SEG Optik 2 Teilgerät "Ebene geometrische Optik"				x		FUR Ph	
SEG Optik 3 Zusatzgerät "Wellenoptik"				x		N	
Schülermeßgerät "Polytest 1"				x	x	FUR Ph	
SEG Elektrik, Grundsatz				x	x	FUR Ph	
SEG Elektrik, Zusatz					x	FUR Ph	
SEG Halbleiter					x	FUR Ph	
oder SEG Halbleiter-Hochfrequenz-Elektronik					x	FUR Ph	
SEG Halbleiter-Hochfrequenz-Elektronik, Ergänzung P 12					x	FUR Ph	
Waage für Schülerexperimente	x					FUR Ph	
Satz Verbindungsleitungen mit Aufbewahrungsvorrichtung				x	x	FUR Ph	
ROW Schülermikroskop C				x		aus Biologie mitnutzen	1 je 2 SAP
SEG Elektrostatik (Zusatzgerät zum SEG Elektrik)					x	FUR Ph	
Schülerstromversorgungsgerät, Grundgerät					x	FUR Ph	
SEG Glasgerätesatz			x			FUR Ph	
Mikroskopierleuchte zum Schülermikroskop				x		aus Biologie mitnutzen	1 je 2 SAP

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
Kursmikroskop (monokular)				x		aus Biologie mitnutzen	
10.3. Meßgeräte							
Digitalzählgerät mit Zeitmeßeinrichtung "Polydigit"	x					FUR Ph	Normativ: 1 je FUR
Präzisionswaage		x				FUR Ph	
Wägesatz	x	x				FUR Ph	
Satz kombinierte Zug- und Druckkraftmesser		x				FUR Ph	1 je 2 SAP
Drehmomentenwaage		x	x			FUR Ph	1 je 2 SAP
Ergänzungen zur Drehmomentenwaage			x			FUR Ph	1 je 2 SAP
Meßschieber, 1/10 Nonius			x			aus Werkunterricht mitnutzen	1 je 5 SAP
Stoppuhr			x			aus Sport mitnutzen	1 je 2 SAP
Aräometer 1 (für leichte Flüssigkeiten, Dichte 0,7 - 1,0)			x			aus Chemie mitnutzen	1 je 5 SAP
Aräometer 22 (für schwere Flüssigkeiten, Dichte 1,0 - 2,0)			x			aus Chemie mitnutzen	1 je 5 SAP
Fadensonde			x			S	
Vertikalmeßstab			x		x	FUR Ph	1 je 2 SAP
Winkelmesser			x			S	1 je 2 SAP
Venturidüse			x				1 je 2 SAP
Meßzylinder 1000 ml			x			FUR Ph	1 je 2 SAP

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
Elektrometer aus Gerätesatz Elektrostatik					x	FUR Ph	1 je 5 SAP
Demonstrations-Drehspul-Meßinstrument (DSD)					x	FUR Ph	wird abgelöst durch DVG
oder Demonstrations-Vielfachmeßgerät (DVG)					x	FUR Ph	Normativ: 2 je FUR, löst Meßgerät DSD ab
10.4. Glasgeräte und anderes Zubehör							
Becherglas, 800 ml			x			FUR Ph	
Stutzenflasche			x				1 je 2 SAP
Schale schräge Wände, innere Bodenmaße 18 cm x 24 cm			x				1 je 2 SAP
Glasröhren 6, Ø 6 bis 7 mm	x		x			aus Chemie mitnutzen	1 je 2 SAP
Glasröhren 7, Ø 7 bis 8 mm	x					FUR Ph	
Gummistopfen, Sortiment I			x			FUR Ph	
Glasrohrschneider			x			FUR Ph	1 je 10 SAP
Verbrennungsrohr 20 Länge 300 mm, 20 mm Ø	x				x	aus Chemie mitnutzen	1 je 2 SAP
Einfülltrichter Ø 50 mm	x		x			FUR Ph	
Einfülltrichter Ø 100 mm	x		x			FUR Ph	
Schlauchband			x			FUR Ph	

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
Glasstäbe 8, 800 mm, ø 7/8 mm			x			aus Chemie mitnutzen	
Gummischlauch, 8/2 mm			x			FUR Ph	
Quetschhahn			x			FUR Ph	
Pneumatische Wanne 2 250 mm x 150 mm x 150 mm			x			aus Chemie mitnutzen	
10.5. Geräte und Modelle							
Kleiner Luftstromerzeuger			x			wird abgelöst durch Druckluft-erzeuger	1 je 2 SAP
Lot			x			S	1 je 2 SAP
Metallkugeln aus Gerät zur kinetischen Gastheorie			x			FUR Ph	1 je 2 SAP
Flugzeugmodelle (Spielzeugmodelle)			x			S	
Sortiment Instrumentensaiten (Gitarre o. ä.)	x					S oder aus Musik mitnutzen	1 je 2 SAP
Universalgenerator UVG - 2	x					FUR Ph	Normativ: 1 je EOS, 1 je 10 SAP
Schallquelle (Startklappe o. ä.)	x					S oder aus Sport mitnutzen	
Stimmgabel mit Schreibspitze	x					FUR Ph	1 je 5 SAP
Normalstimmgabel	x					FUR Ph	1 je 2 SAP
Kundtsche Röhre (Projektionsmodell)	x					FUR Ph	1 je 2 SAP

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
Satz Stimmgabeln auf Resonanzkästen	x					FUR Ph	1 je 10 SAP
Anschlaghammer	x					FUR Ph	1 je 2 SAP
Schullautsprecher	x					FUR Ph	
Magnettonbandgerät B 57						aus TGA	
Mikrofon	x					aus TGA	
Lautsprecher	x					aus TGA	
Elektronenstrahloszillograph ED 2 oder ED 1 - AB	x					FUR Ph	Normativ: 1 je EOS
Perkussionsapparat	x					FUR Ph	
Satz Quader			x			FUR Ph	
Automodell (LKW) (Spielzeugauto)		x				S	
Wasserwellen- und Strömungsgerät (WSP 220)			x			FUR Ph	
Bandgenerator					x	FUR Ph	1 je 5 SAP
Stromversorgungsgerät für Niederspannung					x	FUR Ph	
Stromversorgungsgerät für Mittelspannung					x	FUR Ph	
Gerät zur Erzeugung des elektrischen und magnetischen Feldes					x	FUR Ph	
Influenzmaschine					x	FUR Ph	
Gerätesatz Elektrostatik					x	FUR Ph	
Holtzsche Klemmen (Isolator) aus Präzisionsstativmaterial					x	FUR Ph	1 je 2 SAP

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
Gerät zur Elektrolyse					x	FUR Ph	1 je 10 SAP
Glasröhrenhalter, Schnellklemme aus Präzisionsstativmaterial					x	FUR Ph	1 je 2 SAP
Satz Verbindungsleitungen 100 cm					x	FUR Ph	
Satz Verbindungsleitungen 200 cm					x	FUR Ph	
Ni-Cd - Akkumulator					x	FUR Ph	1 je 10 SAP
Trockenelemente: 1,5 V					x	S	1 je 2 SAP
Trockenelemente: 4,5 V					x	S	1 je 2 SAP
Trockenelemente: 9 V					x	S	1 je 2 SAP
Gerät zur Messung in elektrischen und magnetischen Feldern					x	FUR Ph	Normativ: 1 je EOS
Aufbaugerätesatz zur Elektrizitätslehre	x				x	FUR Ph	Normativ: 1 je FUR
Demonstrationssatz Haftoptik				x		FUR Ph	
Grundgerät Optische Bank				x		FUR Ph	
Ergänzungsausstattung Wellenoptik zur Optischen Bank				x		FUR Ph	
Hohlglasprisma				x		FUR Ph	
Bananenstecker	x			x		FUR Ph	
Krokodilklemmen					x	FUR Ph	
10.6. Sonstige Materialien und Zubehör							
Zähe Flüssigkeit (Glycerin, Paraffin, Speiseöl o. ä.)			x			S	1 je 2 SAP
Korken			x			S	1 je 2 SAP
Sortiment Drähte	x		x		x	S	1 je 2 SAP

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	Wk4	Wk5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
Materialien für Absorption und Schalldämmung (Platten aus Holz, Schaumstoff usw.)	x					S	
Kollophonium	x					S	
Musikinstrument (Gitarre, Geige o. ä.)	x					aus Musik mitnutzen	
verschiedene Holzkörper	x	x	x			S	1 je 2 SAP
Tonband mit Musikaufzeichnungen	x					S	
Holzgitter (aus Stäben o. ä.)	x					S	
Gummiseil	x					S	
Flöte	x					aus Musik mitnutzen	
Blasharmonika	x					aus Musik mitnutzen	
Glasplatte, 80 mm					x	aus Chemie mitnutzen	
Schüttmaterialien (Sand, Kies usw.)		x				S	
Schmiermittel (Motorenöl o. ä.)		x				S, Fachhandel	
Luftballon			x			S, Fachhandel	
Kerze			x			S, Fachhandel	
Elektrische Pendel					x	S	
Drahtnetz, engmaschig (Brennerauflage o. ä.)					x	S, Fachhandel	
Bindfaden/Seidenfaden		x			x	S, Fachhandel	

Unterrichtsmittel	Kurs WK1	WK2	WK3	WK4	WK5	Art der Beschaffung	Bemerkungen
Drahtring mit angelöteter Verbindung					x	S	
Metallzylinder (Büchsenmantel o. ä.)					x	S	
Hartgummizylinder (Scheibe)					x	S	
Aluminiumfolie					x	S, Fachhandel	
Indikatormaterial (Gips, Korkmehl o. ä.)					x	S, Fachhandel	
Metallelektroden					x	S	1 je 2 SAP
Glasplatten für Metallelektroden					x	S	
Klebstoff (Cenosil o. ä.)					x	S, Fachhandel	
Faradaybecher (Konservendose o. ä.)					x	S	1 je 2 SAP
Räucherstoff (Räucherkerze o. ä.)					x	S	1 je 2 SAP
Metallplatte (Gong)	x					S	
Aceton z. A.					x	aus Chemie mitnutzen	
Methanol z. A.					x	aus Chemie mitnutzen	Gift der Abteilung 2
Meßdraht (15 Ohm je m)					x	S	1 je 2 SAP
Leinentuch, 400 mm x 300 mm					x	S, Fachhandel	1 je 2 SAP