

**Physik**

**Klasse 9**

**Unterrichtshilfen**

# Unterrichtshilfen Physik Klasse 9



Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin  
1987

**Autoren:**

**Prof. Dr.**

**Manfred Wünschmann**

**Dr. Werner Riehl**

**Dr. sc. Lothar Meyer**

**Prof. Dr. sc.**

**Hansjoachim Lechner**

**Dr. Ernst Neumann**

**Ziele, inhaltliche Schwerpunkte und Vorschläge zur Gestaltung des Praktikums wurden nach einem Manuskript von Dr. Bernhard Raabe ausgearbeitet**

**Heike Kugel**

**Dr. Horst Bienioschek**

**Volker Abend**

**Einleitung**

**Elektrische Felder, magnetische Felder**

**Elektrische Felder, elektrische Leitungsvorgänge**

**Elektromagnetische**

**Induktion**

**Praktikum (Experimente)**

**Mechanik, TŮ**

**Mechanik, TŮ**

**Redaktion: Günter Meyer**

**Unterrichtshilfen Physik Klasse 9/[Leiter des Autorenkollektivs: Manfred Wünschmann]. – Ausg.**

**1987, 1. Aufl. – Berlin: Volk und Wissen, 1987.**

**– 128 S.: Ill.**

**NE: Wünschmann, Manfred [Mitarb.]**

**ISBN 3-06-022169-3**

**© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1987**

**1. Auflage**

**Ausgabe 1987**

**Lizenz Nr. 203/1000/87 (E 022169-1)**

**LSV 0671**

**Zeichnungen: H. Grothmann**

**Einband: Erika Kerschner**

**Typographische Gestaltung: Atelier vvw**

**Printed in the German Democratic Republic**

**Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden**

**Schrift: 9/10 Garamond TVS**

**Redaktionsschluß: 17. Dezember 1986**

**Bestell-Nr. 7092643**

**00640**

# Inhalt

<b>Einleitung</b> . . . . .	5
<b>Stoffgebiet Elektrizitätslehre</b> . . . . .	12
<b>Stoffeinheit Statische Felder</b> . . . . .	12
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	12
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	14
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	15
Grunderscheinungen der Elektrostatik . . . . .	15
Elektrische Ladung, elektrisches Feld und Feldlinienbilder . . . . .	16
Grunderscheinungen des Magnetismus . . . . .	18
Magnetisches Feld, Feldlinienbilder, Magnetfeld der Erde . . . . .	19
Anwendung des Elektromagnetismus . . . . .	21
<b>Stoffeinheit Elektromagnetische Induktion</b> . . . . .	23
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	23
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	28
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	29
Bedingungen für die elektromagnetische Induktion . . . . .	29
Induktionsgesetz . . . . .	31
Historische Betrachtungen zur Induktion . . . . .	32
Wechselstrom und Wechselstromgenerator . . . . .	34
Aufbau und Wirkungsweise des Transformators . . . . .	36
Wirbelströme . . . . .	40
Selbstinduktion . . . . .	41
Festigung und Kontrolle . . . . .	42
<b>Stoffeinheit Elektrische Leitungsvorgänge</b> . . . . .	42
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	42
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	46
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	49
Gesetze für Spannung, Stromstärke und elektrischen Widerstand . . . . .	49
Meßfehler und deren Einfluß auf das Ergebnis . . . . .	52
Voraussetzungen für elektrische Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten . . . . .	53
Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten . . . . .	54
Bereitstellung wanderungsfähiger Ladungsträger in Gasen und im Vakuum . . . . .	56
Elektrische Leitungsvorgänge in Gasen und deren Anwendung . . . . .	57

Elektrische Leitungsvorgänge im Vakuum und deren Anwendung . . . . .	59
Festigung und Kontrolle . . . . .	60
Aufbau von Halbleitern und Beeinflussung ihres elektrischen Widerstandes durch Zufuhr von Wärme und durch Bestrahlung mit Licht . . . . .	60
n-Leitung und p-Leitung in Halbleitern . . . . .	63
Die Halbleiterdiode . . . . .	64
Der Transistor . . . . .	65
Festigung und Kontrolle . . . . .	67
<b>Stoffgebiet Praktikum . . . . .</b>	<b>69</b>
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	69
Vorschläge zur Durchführung des Praktikums . . . . .	69
Empfehlungen zur Gestaltung der Praktikumsexperimente . . . . .	71
Gruppe 1 Elektrische Bauelemente und Geräte . . . . .	71
Gruppe 2 Charakteristische Kennlinien elektrischer Bauelemente . . . . .	77
Gruppe 3 Optik, Mechanik und Thermodynamik . . . . .	81
<b>Stoffgebiet Mechanik . . . . .</b>	<b>86</b>
<b>Stoffeinheit Kinematik . . . . .</b>	<b>86</b>
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	86
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	90
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	91
Relativität der Bewegung und Modell Massepunkt . . . . .	91
Physikalische Größe Geschwindigkeit . . . . .	94
Bewegungen mit konstantem Betrag der Geschwindigkeit . . . . .	96
Physikalische Größe Beschleunigung . . . . .	99
Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung . . . . .	101
Festigung und Kontrolle . . . . .	105
Überlagerung von Bewegungen . . . . .	107
<b>Stoffeinheit Dynamik . . . . .</b>	<b>108</b>
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	108
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	111
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	113
Kraft als gerichtete Größe, Wechselwirkungsgesetz und Trägheitsgesetz . . . . .	113
Newtonsches Grundgesetz . . . . .	117
Festigung und Kontrolle . . . . .	120
Kreisbewegung . . . . .	121
Mechanische Arbeit und mechanische Energie . . . . .	123
Gestaltungsvorschläge für eine abschließende Stunde . . . . .	126

# Einleitung

## 1. Inhaltliche und methodische Schwerpunkte des Physikunterrichts in Klasse 9

### *Einordnung des Physiklehrstoffes der Klasse 9 in den Gesamtlehrgang Physik*

Die Inhalte der Lehrpläne für Physik in den Klassen 6 bis 10 sind Ausdruck und Ziel der ständigen inhaltlichen und methodischen Weiterentwicklung des Physikunterrichts. Die Hauptaufgabe der damit verbundenen Bemühungen besteht darin, den Beitrag des Physikunterrichts zur allseitigen Persönlichkeitsentwicklung der Schüler zu erhöhen. Dabei stehen die solide Aneignung von Wissen und Können, hohe geistige Aktivität sowie wirksame politisch-ideologische und moralische Erziehung der Schüler im Vordergrund. Hierzu sind in den Lehrplänen verbindliche Aussagen formuliert und in den Lehrbüchern konkretisiert.

Um die gestellten Aufgaben in der Praxis voll wirksam werden zu lassen, ist die schöpferische Arbeit des Lehrers entscheidend. Dieser kann sich weitere wesentliche Hilfen hierzu dadurch schaffen, daß er sich über die Positionen informiert, die der Weiterentwicklung des Physikunterrichts zugrundegelegt werden. Die folgende Übersicht stellt eine Auswahl davon dar unter Einbeziehung weiterer Linienführungen, die hier ebenfalls nur angedeutet werden können.

- Der Inhalt des Physikunterrichts ist bis zur Klasse 10 an der klassischen Physik orientiert. Die Auswahl des Stoffes wird wesentlich vom wissenschaftlich-technischen Fortschritt mitbestimmt und ist in den Lehrplänen festgelegt. Dabei steht die Konzentration auf das Wesentliche im Vordergrund.
- Zentrale Bedeutung für den Physikunterricht besitzt seine Verbindung mit dem Leben. Das gilt sowohl für die Motivierung der Schüler, als auch für ihre Vorbereitung auf einen Beruf. Deshalb soll der Lehrer auf der Grundlage der zahlreich angebotenen Möglichkeiten und eigener Ideen weitgehend von der Erfahrungswelt der Schüler ausgehen und bereits bei der Erarbeitung physikalischer Gesetze auf deren Anwendungen orientieren. Dabei sind die erzieherischen Potenzen voll auszuschöpfen.
- Im Unterrichtsprozeß soll der Lehrer anspruchsvolle Schülertätigkeiten organisieren und führen, wie sie in den Lehrplänen ausgewiesen sind. Dadurch wird einerseits eine Vielfalt hinsichtlich geistiger, geistig-praktischer und speziell experimenteller Tätigkeiten gewährleistet. Andererseits sind in den Lehrplänen diesbezüglich sinnvolle Beschränkungen, Systematisierungen und terminologische Vereinheitlichungen verankert.

Aus einer solchen, hier nur kurz skizzierten Gesamtsicht sind die Jahreslehrgänge konzipiert, wobei die Präzisierung der Aufgaben für einen bestimmten Jahrgang nur aus der

Sicht des Gesamtlehrgangs Physik erfolgen kann. Es ist deshalb erforderlich, daß sich der Lehrer dessen Struktur sehr genau bewußtmacht und dabei zugleich die Beziehungen zu den anderen Fächern berücksichtigt, wobei es bezüglich der Anwendung der Mathematik im Physikunterricht wesentliche Publikationen gibt, so daß hier nicht näher darauf eingegangen wird.

Der Gesamtlehrgang Physik soll zunächst aus inhaltlicher Sicht kurz charakterisiert werden. Er ist diesbezüglich weder streng linear noch streng zyklisch aufgebaut.

In Klasse 6 werden elementare Grundlagen behandelt, die vorwiegend den Stoffgebieten Mechanik und Thermodynamik zuzuordnen sind, aber praktisch in allen Stoffgebieten benötigt und später dort vielfältig vertieft und erweitert werden. Hierzu gehören auch bereits einfache Modellvorstellungen und Einblicke in die Arbeitsweise der Physiker. Diese Aspekte werden ständig weitergeführt.

Als erstes, relativ abgeschlossenes Stoffgebiet folgt die Optik, die erst in Klasse 10 wieder aufgegriffen wird.

Die Klasse 7 ist weitgehend der Mechanik gewidmet, wobei das Stoffgebiet zur Energie in Natur und Technik stark übergreifend, sowohl bezüglich anderer Stoffgebiete als auch anderer Fächer, angelegt ist. Die Begriffe Kraft, Arbeit und Energie bilden wesentliche Grundlagen für den gesamten weiteren Physikunterricht, speziell auch für Klasse 9, während die Mechanik der Flüssigkeiten und Gase in Klasse 7 konzentriert bleibt und nur aspekthaft im Folgeunterricht bedeutsam ist.

In Klasse 8 wird zunächst die Thermodynamik behandelt. Bei diesem Stoffgebiet ist die Konzentration auf eine Klassenstufe am stärksten ausgeprägt. Das ist bei Bezügen, die in Klasse 9 notwendig sind, sehr wichtig.

Das folgende Stoffgebiet Elektrizitätslehre erhält eine besondere strukturelle Bedeutung dadurch, daß es gemeinsam mit dem gleichen Stoffgebiet zu Beginn der Klasse 9 den größten Block zu einer einheitlichen Thematik im Rahmen des Gesamtlehrgangs bildet.

In Klasse 9 wird nach der Fortsetzung der Elektrizitätslehre die Behandlung der Mechanik weitergeführt. Beide Stoffgebiete sind so konzipiert, daß auf der Grundlage des vorangegangenen Unterrichts derjenige theoretische Verallgemeinerungsgrad erreicht wird, der für die zehnklassige allgemeinbildende polytechnische Oberschule als sinnvoll und treffend anzusehen ist. Er wird in Klasse 10 nicht mehr wesentlich erhöht, sondern dient dort als Ausgangspunkt für die Behandlung spezieller Sachverhalte.

In den Klassen 9 und 10 wird außerdem jeweils ein physikalisches Praktikum durchgeführt.

Die Klasse 10 enthält, vom bereits genannten Praktikum abgesehen, die Stoffgebiete Mechanik, Elektrizitätslehre, Optik und Kernphysik.

In Mechanik und Elektrizitätslehre werden Themen behandelt, die sicheres Wissen und Können der Schüler vorwiegend aus Klasse 9 voraussetzen. Aber auch für Optik und Kernphysik sind viele Einzelheiten des vorangegangenen Unterrichts von Bedeutung.

Wie sich aus dieser Übersicht ergibt, ist die Klasse 9 besonders bedeutsam für die Zielstellung, die Schüler auf einen hohen Grad der Allgemeinheit ihres Wissens zu orientieren. Zugleich bietet der Block der Elektrizitätslehre im Rahmen der Klassen 8 und 9 Gelegenheit, die notwendige Verbindung zur aktuellen technischen und technologischen Praxis entscheidend zu vertiefen.

Es ist deshalb für den Physiklehrer bedeutsam, daß diese Inhalte in den verbindlichen Unterrichtsmaterialien sehr eng zwischen den Fächern Physik und ESP koordiniert worden sind. Das betrifft sowohl die physikalischen Grundlagen als auch die technischen Anwendungen.

Aus diesen und weiteren, hier nicht angeführten Grundpositionen und ihrer Konkretisierung in den Materialien zur Klasse 9 ergeben sich die nachstehend aufgeführten inhaltlichen und methodischen Schwerpunkte für die Gestaltung des Physikunterrichts in dieser Klasse.

## *Inhaltliche Schwerpunkte der Elektrizitätslehre in Klasse 9*

- Felder: Real existierende Erscheinungen, Erkennen und Beschreiben am Beispiel des elektrostatischen und des magnetostatischen Feldes,
- Induktionsgesetz: Qualitative, altersgemäße Formulierung, die das spätere Verständnis für das Zusammenwirken elektrischer und magnetischer Felder im elektromagnetischen Wechselfeld vorbereitet; Anwendungen in Wissenschaft, Technik und im täglichen Leben.
- Elektrische Leitungsvorgänge: Gesetze in elektrischen Stromkreisen (quantitativ formuliert, gegenüber Klasse 8 erweitert); Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge in verschiedenen Medien; Anwendungen in Wissenschaft, Technik und im täglichen Leben.

## *Inhaltliche Schwerpunkte der Mechanik in Klasse 9*

- Kinematik: Gesetze der gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung, quantitativ bezüglich der Beträge der jeweiligen Größen formuliert; dadurch sowohl für Bewegungen auf gerader als auch gekrümmter Bahn und somit für zahlreiche Anwendungen gültig.
- Dynamik: Wechselwirkungsgesetz (qualitativ), Trägheitsgesetz (qualitativ) und Newtonsches Grundgesetz (quantitativ) als grundlegende Gesetze der klassischen Mechanik; Anwendung in Wissenschaft, Technik und im täglichen Leben.
- Mechanische Energie (beide Formen quantitativ): Einordnung in andere Energieformen und in das Gesetz von der Erhaltung der Energie; Anwendungen in Wissenschaft, Technik und im täglichen Leben.

## *Methodische Schwerpunkte in Klasse 9*

- Aus der allgemeinen Sicht der Persönlichkeitsentwicklung ist am konkreten Stoff auf die Herausbildung einer erzieherisch fruchtbaren Arbeitsatmosphäre hinzuwirken, die Rationales und Emotionales, Pflichtbewußtsein und Freude an der Arbeit einschließt. Die hierzu notwendige lebensverbundene und problemreiche Unterrichtsgestaltung ist als Führungsstrategie des Lehrers zu verstehen und nicht als Abfolge klischeehafter Beispiele. Hierzu gehört die Anregung der Schüler zu aktiver Mitarbeit und hoher Selbstständigkeit. Das erfordert ansprechende Motivationen und klare Zielorientierungen sowie Möglichkeiten, das angeeignete Wissen und Können auf neue Situationen anzuwenden. Dazu sind an sorgfältig ausgewählten Themen Probleme aufzuwerfen und unter aktiver Einbeziehung der Schüler zu lösen.

Der Lehrer muß sich daher auf eine variantenreiche Unterrichtsführung einstellen, die die Ideen der Schüler beachtet, neben richtigen auch falsche Lösungsansätze – möglichst experimentell – überprüft und dabei das physikalisch Wesentliche für alle Schüler deutlich werden läßt.

Exemplarisch ist in der Stoffeinheit „Elektromagnetische Induktion“ die problemhafte Unterrichtsgestaltung etwas ausführlicher dargestellt als in den anderen Stoffeinheiten. Die Unterrichtsmaterialien und aktuelle Publikationen bieten hierzu weitere vielfältige Anregungen, vor allem aus dem unmittelbaren Erlebnisbereich der Schüler.

- Aus inhaltlich-theoretischer Sicht ist die fachspezifische Zielstellung des Physikunterrichts, physikalische Begriffe und Gesetze zu erarbeiten, auch in Klasse 9 wesentlich. Dabei wird der in den Klassen 6 bis 8 angelegte Weg weiter verfolgt, physikalische Begriffe und Gesetze aus der lebendigen Anschauung herzuleiten, nach der Behandlung von qualitativen Merkmalen zu einer quantitativen Fassung überzugehen und den Erkenntnisprozess erst mit der Anwendung der Gesetze in der Praxis als abgeschlossen zu betrachten.

Somit bleibt der empirische Weg der Erkenntnis, der in den Klassen 6 bis 8 ganz im Vordergrund steht, auch in Klasse 9 bedeutsam. Auf Grund des höheren Entwicklungsstandes der Schüler ergibt sich aber jetzt die Möglichkeit, den theoretischen Erkenntnisweg stärker einzubeziehen. Das führt zugleich zu einem höheren Niveau bei der Anwendung der Mathematik im Physikunterricht, sowie zu einer Vertiefung des Wissens der Schüler über Denk- und Arbeitsmethoden in der Physik und ihres Einblicks in das eigene Vorgehen bei physikalischen Überlegungen.

- Aus der Sicht allgemein-geistiger Schülertätigkeiten kommt es darauf an, daß der Lehrer anspruchsvolle Tätigkeiten organisiert und seine Aufträge so an die Schüler richtet, daß diese genau wissen, was sie tun sollen. Er sollte sich auch hier exakt an die Vorleistungen halten, die in den Klassen 7 und 8 erbracht werden.
- Aus der Sicht experimenteller Schülertätigkeiten wird in Klasse 9 die Entwicklung des experimentellen Könnens der Schüler systematisch fortgesetzt. Die auch hier erweiterten Schülerexperimente sind an solchen Stellen vorgesehen, wo sie aus methodischen Gründen als besonders günstig erscheinen. Dadurch sind sie nicht gleichmäßig über die Stoffabschnitte verteilt.  
Erstmalig für die Schüler wird ein physikalisches Praktikum durchgeführt. Dazu gibt es spezielle Anleitungen.

## 2. Hinweise zum Aufbau und zur Verwendung der Unterrichtshilfen

Die vorliegenden Unterrichtshilfen sind wie folgt gegliedert:

- *Generelle Zielstellungen, Orientierungen und Linienführungen* werden in entsprechenden Abschnitten (zum Jahreslehrgang und zu den Stoffeinheiten) umrissen. Sie sind in enger Verbindung zu sehen mit den Darlegungen im Lehrplan Physik, Klasse 9, die den Zielen und Aufgaben, den Hinweisen zur methodischen und organisatorischen Gestaltung und dem Inhalt des Unterrichts gewidmet sind. Ohne Kenntnis aller dieser Ausführungen ist das Verständnis der Hinweise und Vorschläge der Unterrichtshilfen nur schwer möglich.
- *Wichtigster Gliederungsaspekt* für die Planung und Gestaltung des Unterrichts ist die *Stoffeinheit*. Ihr übergeordnet ist das *Stoffgebiet*, untergeordnet die *thematische Einheit*. Es wird jeweils ein ausführlicher *Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit* angeboten, wobei auch Varianten angeboten werden.
- *Unmittelbare Hinweise* für den Unterricht finden sich in den *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*. Sie umfassen alle Aspekte des Unterrichts, wobei die Akzente von der Thematik bestimmt werden; sie können bis zu Vorschlägen für die Gestaltung einzelner Stunden oder Teile davon gehen. Es ist jedoch stets zu bedenken, daß alle Entscheidungen des Lehrers über den methodischen Weg des Vorgehens im wesentlichen bei der Planung der Stoffeinheit, spätestens bei der Planung der thematischen Einheit, getroffen werden sollten. Das betrifft insbesondere die Wahl zwischen Varianten. Die gegebenen Hinweise beziehen sich auch auf die durchzuführenden Experimente

und auf die Unterrichtsmittel. Benötigte Geräte werden nur angeführt, wenn besondere Aufmerksamkeit erforderlich erscheint bzw. ihre Bereitstellung langfristig eingeleitet werden muß.

Für Tafelbilder und Folien gibt es ausgewählte Beispiele.

### 3. Zur Arbeit mit dem Lehrbuch und dem Praktikumsheft

Das Lehrbuch ist zwar für den Schüler geschrieben, stellt aber zugleich ein wichtiges Hilfsmittel für den Lehrer zur Vorbereitung und Durchführung des Unterrichts dar. Der Lehrer hat damit eine zuverlässige und ausführliche Interpretation des Lehrplans in der Hand, die es ihm erleichtert, die bereits genannten Probleme zu lösen. Dabei ist es wichtig, daß er sich die Strukturelemente bewußt macht, die dem Lehrbuch zugrunde liegen und die zum Teil durch Zeichen hervorgehoben werden.

So können z. B. die jeweils einführenden Abschnitte gut für die so wichtige Motivation genutzt werden. Aus dem Lehrtext lassen sich wesentliche Anregungen für die Gestaltung des Erkenntnisweges ableiten. Zahlreiche Stellen des Lehrtextes sind auch für die selbständige Erarbeitung durch die Schüler geeignet, wobei die den jeweiligen Seiten zugeordneten Fragen und Aufträge bzw. Aufgaben unterschiedlicher Art nützlich sind, oder sie können dem Nacharbeiten der Schüler nach Versäumnissen dienen. Es ist wichtig, daß die Schüler auf diese Weise an die selbständige Arbeit mit der Literatur herangeführt werden.

Soweit es sich um Sachinformationen handelt, treten dabei kaum Schwierigkeiten auf. Der Lehrer sollte sich jedoch nicht darauf beschränken, sondern auch an geeigneten Stellen den Erkenntnisprozeß der Schüler mit Hilfe des Lehrbuchs führen. Wenn im Buch Probleme formuliert und Lösungswege angedeutet bzw. dargestellt werden, sind im Hinblick auf eine interessante Unterrichtsgestaltung Teilergebnisse meist nicht unmittelbar formuliert. Sie werden jedoch stets an einer geeigneten Stelle des Textes oder im Rahmen einer Aufgabe angeführt.

Von besonderer Bedeutung sind die im Lehrbuch gewählten Formulierungen der Ergebnisse des jeweiligen Erkenntnisprozesses, insbesondere hinsichtlich der erarbeiteten Begriffe und Gesetze. Dabei stehen die inhaltlichen Aspekte ganz im Vordergrund, während mathematisch-formale Aussagen demgegenüber zurücktreten. So sind keine verbalen Formulierungen von Gleichungen, die physikalische Gesetze ausdrücken, in den Merksätzen des Lehrbuches enthalten. Statt dessen werden qualitativ-inhaltliche Aussagen hervorgehoben und die Gültigkeitsbedingungen der Gesetze deutlich gekennzeichnet. Die Lehrer sollten sich hier nicht von Gewohnheiten leiten lassen, sondern diesen methodischen Fortschritt voll zur Geltung bringen. Entsprechendes gilt für verbale Formulierungen solcher Gesetze, die im Rahmen des Schulstoffs nicht durch Gleichungen darstellbar sind. Hier ist besonders auf das Induktionsgesetz zu verweisen, dessen exakte verbale Formulierung sehr problematisch ist. Im entsprechenden Abschnitt der Unterrichtshilfen wird darauf genauer eingegangen.

Bei aller Bedeutung des Lehrbuchs wäre es jedoch verfehlt, bei der Unterrichtsgestaltung das Buch ganz in den Mittelpunkt zu stellen. Es muß für den Schüler eine interessante, nützliche, vielseitige Hilfe werden und bleiben!

Zur Bedeutung des Lehrbuchs als Aufgabensammlung werden im Absatz 4. der Einleitung noch einige Hinweise gegeben.

Hervorzuheben ist auch die Rolle, die dem Lehrbuch bei der Durchführung der Demonstrations- und Praktikumsexperimente zukommt. Alle obligatorischen Experimente sind im Buch erfaßt und in die inhaltliche Gedankenführung eingeordnet. Der Umfang der Erläute-

rung ist je nach der Thematik unterschiedlich. Die Ausführungen zu den Schülerexperimenten sind in Form von Anleitungen gestaltet, nach denen die Schüler unmittelbar arbeiten können.

Für das Praktikum erhalten die Schüler als Anleitung ein Praktikumsheft; außerdem werden in den Unterrichtshilfen ausführliche Erläuterungen für den Lehrer gegeben. Es ist sehr wichtig, daß sich der Lehrer bereits zu Beginn der Klasse 9 einen Überblick über diese Materialien verschafft. Dadurch kann er wesentlich dazu beitragen, daß alle experimentellen Schülerfertigkeiten unter einheitlichen Gesichtspunkten ausgeführt werden.

## 4. Zum Lösen von Aufgaben

Das Lösen von Aufgaben besitzt im Physikunterricht zwar nicht die zentrale Bedeutung wie im Mathematikunterricht, darf aber keinesfalls vernachlässigt werden.

Der Lehrer verfügt mit dem Lehrbuch über eine vielseitige nutzbare Aufgabensammlung. Unter der Bezeichnung „Fragen und Aufträge“ sind von Seite zu Seite Aufgaben für die Schüler gestellt, die unmittelbar in den Unterrichtsablauf eingeordnet sind und ein breites Spektrum von Anforderungen umfassen. So lassen sich manche dieser Aufgaben allein durch inhaltliche Überlegungen lösen. Für andere sind kalkülmäßige Rechnungen erforderlich; einige verlangen lediglich ein bestimmtes Faktenwissen. Dem Lehrer ist hier eine große Vielfalt für die Führung der Schülertätigkeiten gegeben.

In den Abschnitten „Wiederholung und Übung“ des Lehrbuches sind Aufgaben vor allem für die Festigung des Wissens und Könnens zusammengestellt. Sie können auch als Anregungen für schriftliche Leistungskontrollen dienen.

Das Lösen von Aufgaben bietet auch reiche Möglichkeiten, die Fertigkeiten der Schüler im Umgang mit dem Taschenrechner weiter auszubilden.

Sehr wichtig ist die regelmäßige und häufige Durchführung von Kurzübungen, die hauptsächlich der ständigen Reaktivierung des früher behandelten Stoffes dienen. Dabei stehen die Inhalte im Vordergrund, die sich laut Lehrplan die Schüler einprägen sollen. Nachstehend werden einige Hinweise gegeben und Beispiele für Aufgaben dieser Art angeführt, um eine Vorstellung über den anzustrebenden Anforderungsgrad zu vermitteln. Sie sind auf den Stoff der Klasse 9 beschränkt, die Kurzübungen allerdings sollten auch den grundlegenden Stoff der vorangegangenen Klassen einschließen.

Beispiele können aus den Materialien dieser Klassen abgeleitet werden.

Als inhaltliche Schwerpunkte „täglicher Übungen“ werden für die Klasse 9 empfohlen: Fragen und Aufgaben zu

- physikalischen Größen (z. B. physikalischer Bedeutung, Formelzeichen, Einheit, Meßgerät, Umrechnen von Größenangaben bei Änderung der Einheit)
- physikalischen Gesetzen (z. B. einfaches Berechnen von Größen, Auffinden von Gleichungen im Tafelwerk, Reproduzieren von Gesetzen aus dem Gedächtnis)
- Tabellen und Diagramme (z. B. Anfertigen von Diagrammen, Bestimmen von Größen aus Diagrammen, Erkennen physikalischer Zusammenhänge)
- Beschreiben und Erläutern physikalischer Erscheinungen.

Beispiele:

1. Ergänzen Sie die Tabelle!

physikalische Größe	Bedeutung	Formelzeichen	Einheit	Gleichung
Kraft				
		$a$		
			1 km/h	

2. Ergänzen Sie die Gleichungen

$$s = \frac{a}{2} \cdot \quad = \frac{F}{a} \quad \frac{U_1}{U_2} =$$

und interpretieren Sie eine davon!

3. Zeichnen Sie das Weg-Zeit-Diagramm nach folgender Tabelle!

Ermitteln Sie den vermutlichen Zusammenhang zwischen den Größen Weg und Zeit!

Ergänzen Sie die Tabelle in der Annahme, daß der vermutete Zusammenhang tatsächlich besteht!

Zeit $t$ in s	0	1,0	2,0	3,0	5,0	7,0
Weg $s$ in m	0	0,5	2,0	4,5		

4. Beschreiben Sie den Aufbau und erklären Sie die Wirkungsweise eines Transformators!

5. Erläutern Sie das Wirken der Radialkraft an einem Beispiel!

6. Beschreiben Sie ein Experiment zur Untersuchung der Abhängigkeit der Induktionsspannung von der Anzahl der Windungen der Induktionsspule!

In diesen Unterrichtshilfen werden folgende Abkürzungen verwendet:

DE = Demonstrationsexperiment

HA = Hausaufgabe

K-F = Kassettenfilm

LB = Lehrbuch

LBA = Lehrbuchabbildung

LV = Lehrervortrag

PhiS = Zeitschrift „Physik in der Schule“

PhÜb = Physik in Übersichten

SE = Schülerexperiment

SSA = Selbständige Schülerarbeit

SV = Schülervortrag

TB = Tafelbild

UG = Unterrichtsgespräch

ZO = Zielorientierung

## Stoffeinheit Statische Felder

9 Stunden

*Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Im *Mittelpunkt des Unterrichts* in der Stoffeinheit „Statische Felder“ stehen neben Grunderscheinungen der Elektrostatik und der Magnetostatik die Vertiefung des in Klasse 8 am elektrischen Feld eingeführten Feldbegriffes, die Beschreibung elektrischer und magnetischer Felder mit Hilfe des Modells Feldlinienbild und die Untersuchung der Kraft auf einen Körper im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule. Damit werden wichtige Vorleistungen für eine fundierte Behandlung der elektromagnetischen Induktion und der elektrischen Leitungsvorgänge geschaffen. Zugleich lernen die Schüler physikalische Grundlagen für das Verständnis wesentlicher technischer Anwendungen kennen. Als Anwendung stehen beim elektrischen Feld Hinweise auf den Kondensator und beim magnetischen Feld der Elektromagnet und der Gleichstrommotor im Vordergrund.

In der Stoffeinheit „Statische Felder“ ergeben sich vom Gegenstand her günstige Ansatzpunkte für die *weltanschauliche Bildung und Erziehung* der Schüler. Im Zusammenhang mit der Behandlung der Felder läßt sich die Einsicht vertiefen, daß der Mensch auch Erscheinungen erfassen, beschreiben und erklären kann, die mit seinen Sinnesorganen nicht direkt wahrnehmbar sind. Darüber hinaus können die in Klasse 8 vermittelten Einsichten über das Wesen von Modellen weiter vertieft werden, indem den Schülern verdeutlicht wird, was dem Modell Feldlinienbild entnommen werden kann und wo die Grenzen dieses Modells liegen.

In der Stoffeinheit bestehen zahlreiche Möglichkeiten für die *Vervollkommnung des Könnens der Schüler* und für *Beiträge zur systematischen Ausprägung ihrer Fähigkeiten*. Dies gilt besonders für das Beschreiben und Erklären von Sachverhalten.

Bei diesen Tätigkeiten sowie beim Anfertigen von Protokollen und beim Lösen von Aufgaben sind die Orientierungen zugrunde zu legen, die die Schüler im Physikunterricht der Klassen 7 und 8 erhalten haben.

Die Stoffeinheit ist in folgende zwei Stoffabschnitte gegliedert:

- Elektrisches Feld,
- Magnetisches Feld.

Ausgangspunkt für die Behandlung des elektrischen Feldes sind Grunderscheinungen der Elektrostatik, die die Schüler in den Klassen 6 bis 8 kennengelernt haben. Eine Vertiefung des Begriffs elektrische Ladung erfolgt durch Einführung von Formelzeichen und Einheit, der Gleichung zur Berechnung der Ladung  $Q = I \cdot t$  und der Elementarladung  $e$ .

Das elektrische Feld wird als real existierende Erscheinung in der Umgebung elektrisch geladener Körper gekennzeichnet. Mit dieser für die Schüler faßlichen Formulierung wird der philosophische Materiebegriff vorbereitet.

Für das Verständnis der Anordnung von Teilchen, z. B. von ungeladenen Grieskörnern, im elektrischen Feld ist es erforderlich, auf die Beeinflussung elektrisch ungeladener Körper im elektrischen Feld hinzuweisen.

Ausgehend von Experimenten wird herausgearbeitet, daß das elektrische Feld durch das Modell Feldlinienbild beschrieben werden kann. Dabei muß deutlich werden, daß diesem Modell Aussagen über die Richtung der Feldkräfte auf geladene Körper und über die Stärke des Feldes in verschiedenen Punkten entnommen werden können. Der Begriff der Stärke des Feldes wird hierbei im umgangssprachlichen Sinne verwendet. Die Einführung der physikalischen Größe elektrische Feldstärke ist nicht vorgesehen.

Der Kondensator wird als ein Bauelement zur Speicherung von Ladung bzw. von Feldenergie charakterisiert. Eine ausführlichere Behandlung dieses Bauelements erfolgt in Klasse 10.

Analog zum elektrischen Feld beginnt die Behandlung des magnetischen Feldes mit der Wiederholung von Wissen über Magnete und magnetische Kräfte, das die Schüler in Klasse 8 erworben haben oder das ihnen aus ihrem Erfahrungsbereich bekannt ist.

Das magnetische Feld wird analog zum elektrischen Feld als real existierende Erscheinung in der Umgebung von Dauermagneten und stromdurchflossenen Leitern gekennzeichnet und durch das Modell Feldlinienbild beschrieben.

Für technische Anwendungen ist die in inhomogenen Magnetfeldern auf geeignete Körper wirkende Kraft von großer Bedeutung. Deshalb wird die Abhängigkeit der Kraft auf einen Körper im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule in den Vordergrund gestellt und im Schülerexperiment untersucht. Dabei muß bei den Schülern der Eindruck vermieden werden, daß die Kraft auf einen Körper mit der Stärke des magnetischen Feldes identisch ist.

An die Untersuchung des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Spule anknüpfend, werden Elektromagnete und Beispiele für ihre Anwendung in der Praxis behandelt. Dabei ergeben sich günstige Möglichkeiten, den Erfahrungsbereich der Schüler einzubeziehen und Verbindungen zum Fach ESP herzustellen.

Bei der Behandlung des Gleichstrommotors stehen die physikalischen Grundlagen und nicht technische Einzelheiten im Vordergrund. Es ist zu beachten, daß die Erklärung seiner Wirkungsweise sowohl über die Kraft zwischen Magnetpolen (körperbezogene Betrachtungsweise) als auch durch die Richtwirkung auf einen Magneten im Magnetfeld (feldbezogene Betrachtungsweise) erfolgen kann.

Anschließend werden beide Felder hinsichtlich wesentlicher Gemeinsamkeiten und Unterschiede verglichen. Damit wird zugleich die Einsicht in das Wesen von Feldern als real existierende Erscheinungen festigt. Die Gemeinsamkeiten betreffen vor allem die Kennzeichnung des Feldbegriffs, die Beschreibung der Felder durch Feldlinienbilder sowie Aussagen zur Energie der Felder. Die Unterschiede resultieren daraus, daß elektrische Ladungen isoliert auftreten, Magnetpole jedoch nur als Dipole vorkommen. Das führt auch dazu, daß eine analoge Behandlung elektrischer und magnetischer Felder nur begrenzt möglich ist.

Insgesamt sollen die Schüler das folgende *grundlegende Wissen und Können* erwerben, das auch Gegenstand der Leistungskontrollen sein soll:

- Kennntnis und Erläutern von Grunderscheinungen der Elektrostatik und der Magnetostatik sowie deren Bedeutung in der Praxis;
- Beschreiben elektrischer und magnetischer Felder mit Hilfe von Feldlinienbildern;
- Kennzeichnung der Begriffe Feld als real existierende Erscheinung und Träger von Energie, Feldlinienbild als Modell des Feldes;

- Untersuchen und Erläutern der Abhängigkeit der Kraft auf einen Probekörper im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule von Stromstärke, Windungszahl und Stoff, der sich in der Spule befindet;
- Beschreiben des Aufbaus und Erläutern der Anwendung von Elektromagneten in der Technik;
- Beschreiben des Aufbaus und Erklären der Wirkungsweise von Gleichstrommotoren.

Für eine *Leistungskontrolle* werden folgende Aufgaben empfohlen:

1. Berechnen Sie die Ladung, die in 8 s durch einen Leiter fließt, wenn die Stärke des Stromes 2 A beträgt!  
Geben Sie die Anzahl der Elektronen an, die in dieser Zeit durch einen Leiterquerschnitt hindurchtreten!
2. Nennen Sie den wesentlichen Unterschied zwischen einem Feld und seinem Feldlinienbild!
3. Zeichnen Sie das Feldlinienbild eines Stabmagneten! In das Feld wird eine Magnetnadel gebracht. Skizzieren Sie an drei von Ihnen gewählten Punkten, wie sich die Nadel ausrichtet!
4. Beschreiben Sie den Aufbau und erklären Sie die Wirkungsweise eines Lasthebemagneten!

### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierendes Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<b>Stoffabschnitt Elektrisches Feld (3 Stunden)</b>		
Grunderscheinungen der Elektrostatik 1 Std.	Elektrische Ladung, Aufbau des Atoms (Ph 6, 8) Kräfte zwischen Ladungen (Ph 8)	DE: Trennung von Ladungen DE: Nachweis von Ladungen DE: Kräfte zwischen geladenen Körpern
Elektrische Ladung, elektrisches Feld und Feldlinienbilder 2 Std.	Elektrische Stromstärke (Ph 8) Elektrisches Feld, Kräfte auf geladene Körper im elektrischen Feld (Ph 8)	DE: Kondensator als Speicher von Ladung und von Feldenergie DE: Kraft auf einen geladenen Körper im elektrischen Feld DE: Verschiedene Formen elektrischer Felder
<b>Stoffabschnitt Magnetisches Feld (6 Stunden)</b>		
Grunderscheinungen des Magnetismus 1 Std.	Magnetische Wirkung des elektrischen Stromes (Ph 6)	DE: Bestimmen der Pole eines Stabmagneten DE: Untersuchen der Kräfte zwischen Magnetpolen DE: Bewegung einer Leiterschleife im Magnetfeld (Schaufelversuch) DE: Gegenseitige Anziehung und Abstoßung zweier stromdurchflossener, geradliniger Leiter.

Magnetisches Feld, Feldlinienbilder, Magnetfeld der Erde 2 Std.	Magnetfeld der Erde (Geo 5)	DE: Ausrichten einer Magnetnadel und eines unmagnetischen Körpers aus ferromagnetischem Stoff im Magnetfeld DE: Beschleunigung eines Körpers im Magnetfeld DE: Magnetisierung eines Körpers DE: Anordnung von Eisenfeilspänen in magnetischen Feldern Globus Kompaß (Marschkompaß)
Anwendungen des Elektromagnetismus Kraft auf einen Magneten im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule Elektromagnet Anwendungen des Elektromagneten Gleichstrommotor 2 Std.	Elektromagnet (We 6) Relais (ESP 9) Physikalisches Gesetz (Ph 8)	SE: Kraft auf einen Magneten im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule DE: Tragkraft eines Elektromagneten DE: Wagnerscher Hammer DE: mit Motor-Generator-Modell verschiedene Anker Fo (Selbstanfertigung)
Festigung und Kontrolle 1 Std.		

## *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*

### *Grunderscheinungen der Elektrostatik*

1 Stunde

In der ersten Unterrichtsstunde erfolgt neben einer Einführung in den Physikunterricht der Klasse 9 eine Wiederholung von Grunderscheinungen der Elektrostatik. Neu eingeführt werden Formelzeichen und Einheit der Ladung sowie der Zusammenhang zwischen der Ladung eines Körpers und der Elementarladung.

#### **Ziele**

Die Schüler

- erhalten einen Überblick über den Inhalt des Physikunterrichts und werden über Anforderungen bezüglich des Verhaltens im Fachunterrichtsraum informiert;
- kennen Grunderscheinungen der Elektrostatik und können diese erläutern;
- wissen, wie Ladungen nachgewiesen werden;
- kennen Formelzeichen und Einheit der elektrischen Ladung;
- wissen, daß sich jede Ladung aus Elementarladungen zusammensetzt.

#### **Unterrichtsmittel**

Gerätesatz Elektrostatik  
SEG Elektrostatik

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung in den Physikunterricht.** Zur Einstimmung kann eine Stoffübersicht über die Elektrizitätslehre gegeben werden. Sie dient der längerfristigen Orientierung der Schüler. Die Bedeutung des Unterrichtsgegenstandes wird verdeutlicht anhand einiger ausgewählter Beispiele in Abhängigkeit von der jeweiligen Klassensituation. Geeignet sind hierfür insbesondere technische Geräte und Bauelemente (Elektromagnet, Gleichstrommotor, Transformator und Generator, Elektronenstrahlröhre, Diode, Transistor), aber auch spezielle Anwendungen (z. B. Zündspule bei Kraftfahrzeugen, Lichtschranke). Wichtig ist hierbei, daß die Schüler die Bedeutung des Unterrichtsstoffes erfassen und somit auch eine Langzeitmotivierung erreicht wird.

Grundlage für die notwendige Belehrung ist die „Anweisung Nr. 2/84 zum Gesundheits- und Arbeitsschutz sowie Brandschutz im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der außerunterrichtlichen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften vom 1. Februar 1984“. **Die Belehrung ist im Klassenbuch aktenkundig zu machen.**

Zur Einführung in die Stoffeinheit eignet sich ein historischer Einstieg entsprechend der Darstellung im Lehrbuch, S. 6.

**Grunderscheinungen der Elektrostatik.** Bei der Wiederholung von Grunderscheinungen der Elektrostatik sind diejenigen in den Vordergrund zu stellen, die im LB, S. 7 ausgewiesen sind. Für die Durchführung der DE eignet sich der Gerätesatz „Elektrostatik“. Möglich ist auch die Durchführung einiger Experimente als SE mit Hilfe des SEG „Elektrostatik“.

Im Interesse der Lebensverbundenheit des Unterrichts sind auch Vorgänge des Alltags einzubeziehen, bei denen elektrische Ladungen getrennt werden und Kräfte zwischen geladenen Körpern auftreten (z. B. beim Kämmen frisch gewaschener Haare, beim Ausziehen eines Pullovers). Damit könnten Hinweise auf ähnliche technische Beispiele verbunden werden (Textil- und Papierindustrie, Verpackungsmittelindustrie).

Der Begriff elektrische Ladung ist den Schülern aus Kl. 8 bekannt. Der Schwerpunkt liegt in diesem Stundenabschnitt auf der Herausarbeitung der physikalischen Bedeutung des Begriffs, auf der Einführung von Formelzeichen und Einheit der Ladung sowie auf der Erläuterung des Zusammenhangs zwischen der Ladung  $Q$  eines Körpers und der Elementarladung  $e$ . Für die Hinführung zur Elementarladung ist folgende Frage geeignet: Kann die Ladung eines Körpers beliebig geteilt werden? Die Elementarladung wird als Ladung eines Elektrons bzw. eines Protons gekennzeichnet. Die Formulierung „kleinste Ladung“ sollte vermieden werden.

### *Elektrische Ladung, elektrisches Feld und Feldlinienbilder*

2 Stunden

In dieser thematischen Einheit geht es um eine Reaktivierung des in Klasse 8 vermittelten Wissens über das elektrische Feld sowie um eine Erweiterung und Vertiefung dieses Wissens. Neu eingeführt wird die Gleichung zur Berechnung der elektrischen Ladung. Das elektrische Feld wird als real existierende Erscheinung und als Träger von Energie gekennzeichnet. Im Vergleich zu Lehrbuch Physik Klasse 8 – dort wird das elektrische Feld durch Grautönung markiert – wird durch die Einführung des Modells Feldlinienbild die Beschreibung des elektrischen Feldes präzisiert.

## Ziele

Die Schüler

- kennen die Gleichung zur Berechnung der elektrischen Ladung  $Q = I \cdot t$  und können diese Gleichung interpretieren;
- kennen den Begriff elektrisches Feld und erkennen, daß elektrische Felder real existierende Erscheinungen sind;
- wissen, daß im elektrischen Feld auf geladene Körper Kräfte ausgeübt werden und ungeladene Körper ebenfalls beeinflusst werden;
- wissen, daß elektrische Felder Träger von Energie sind;
- kennen Feldlinienbilder von elektrischen Feldern; können mit Hilfe von Feldlinienbildern elektrische Felder beschreiben und wissen, daß ein Feldlinienbild ein Modell eines elektrischen Feldes ist.

## Unterrichtsmittel

Gerätesatz Elektrostatik

Plattenkondensator (Platten mit mehreren Reihen von Zwirnsfäden in etwa 3 cm Abstand voneinander versehen)

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Gleichung zur Berechnung der Ladung.** Als Ausgangspunkt für die Erarbeitung der Gleichung  $Q = I \cdot t$  kann die Frage gewählt werden, welcher Zusammenhang in einem Stromkreis zwischen der transportierten Ladung, der Stromstärke und der Zeitdauer des Stromflusses besteht. Die Erarbeitung erfolgt durch Analogiebetrachtungen zwischen einem elektrischen Strom und einer Wasserströmung. Damit wird auf die Analogie zurückgegriffen, die die Schüler in Klasse 8 bei der Einführung der elektrischen Stromstärke kennengelernt haben. Eine anschauliche Deutung der Gleichung kann mit Hilfe des im Physikunterrichts der Klasse 8 behandelten Modells der Elektronenleitung erfolgen. Damit wird zugleich der Zusammenhang zwischen der Ladung  $Q$  und der Elementarladung  $e$  gestiftet.

Bei der Interpretation der Gleichung  $Q = I \cdot t$  sollte sich der Lehrer bereits an den Schritten orientieren, die im LB der Klasse 9 im Abschnitt „Bewegungen bei konstantem Betrag der Geschwindigkeit“ für das Interpretieren von Gleichungen angegeben sind.

**Begriff und Merkmale des elektrischen Feldes.** An die Kenntnisse der Schüler aus dem Physikunterricht der Klasse 8 anknüpfend wird ihr Wissen über das elektrische Feld gestiftet (Feld im Raum um geladene Körper, Kraft auf geladene Körper) und erweitert (Beeinflussung ungeladener Körper im Feld). Die Experimente zu Kräften auf geladene Körper im elektrischen Feld sind ein Beleg für die mit geeigneten Hilfsmitteln nachweisbare Existenz des elektrischen Feldes. An diesem Beispiel ist bei den Schülern die weltanschaulich bedeutsame Einsicht zu vertiefen, daß der Mensch auch Erscheinungen erfassen, beschreiben und erklären kann, die er mit seinen Sinnesorganen nicht direkt wahrnehmen kann. Mit der Behandlung der Beeinflussung elektrisch ungeladener Körper im elektrischen Feld wird zugleich das Verständnis für die Anordnung von kleinen Körpern (z. B. Grießkörnchen) im elektrischen Feld gewährleistet.

Nach der Demonstration der Entladung eines Kondensators über eine Glimmlampe oder eine Kleinspannungsglühlampe wird die Frage aufgeworfen, woher die Energie stammt, die das Aufleuchten der Glimmlampe oder der Glühlampe hervorruft.

Mit Hinweis auf die gesellschaftliche Erfahrung wird den Schülern mitgeteilt, daß beliebige elektrische Felder Träger von Energie sind und daß die Feldenergie auch sehr große Werte annehmen kann.

Im UG sollte auch erwähnt werden, daß zum Aufbau eines elektrischen Feldes (Laden eines Kondensators) die Zuführung von Energie, beispielsweise aus einer Spannungsquelle, notwendig ist.

**Feldlinienbild des elektrischen Feldes.** Bei der Darstellung von Feldlinienbildern ist es zweckmäßig, schrittweise von räumlichen Veranschaulichungen zum Feldlinienbild eines elektrischen Feldes überzugehen. Als Ausgangspunkt können räumliche Darstellungen gewählt werden, wie man sie mit Hilfe von Watteflocken und eines Bandgenerators erhält. Läßt man Watteflocken auf den geladenen Konduktor des Bandgenerators fallen, so laden diese sich auf und fliegen vom Konduktor weg. Ihre Bahnen entsprechen in der Nähe des Konduktors etwa dem Verlauf der Feldlinien. Geeignet ist auch ein Plattenkondensator, dessen Platten mit Zwirnsfäden versehen sind. In Fortsetzung der Abstraktionsreihe wird zu ebenen Darstellungen mit Hilfe des Gerätesatzes Elektrostatik übergegangen. Abschließend wird ein DE durchgeführt, bei dem z. B. mit Hilfe von Gieß- und Rizinusöl elektrische Feldlinien veranschaulicht werden.

Ein Feldlinienbild wird durch Nachzeichnen einiger im DE beobachteter „Ketten“ von Teilchen (Gießkörnern) gewonnen. Der Lehrer erläutert dabei, daß die Anzahl der gezeichneten Linien willkürlich ist, aber immer so viele Linien gezeichnet werden, daß die Form des Feldes deutlich wird.

Die Gewinnung weiterer Feldlinienbilder kann so erfolgen, daß im DE die Anordnung der Gießkörner gezeigt und dann auf die LBA 10/1c, 11/1 und 11/2 verwiesen wird.

Das Feldlinienbild wird als Modell des Feldes gekennzeichnet. An dieser Stelle ist an das im Physikunterricht der Kl. 8 vermittelte Wissen über Modelle anzuknüpfen. Im UG wird erläutert, daß aus Feldlinienbildern Aussagen über die Richtung der Kraft auf elektrisch geladene Körper und die Stärke des Feldes in verschiedenen Punkten getroffen werden können. Zugleich ist den Schülern deutlich zu machen, daß sich aus dem Modell Feldlinienbild nicht alle Merkmale des realen Feldes ermitteln lassen. Insbesondere ist darauf hinzuweisen, daß das elektrische Feld im gesamten Raum um elektrisch geladene Körper existiert.

## *Grunderscheinungen des Magnetismus*

1 Stunde

### **Ziele**

Die Schüler

- kennen magnetische Grunderscheinungen;
- können magnetische Grunderscheinungen erläutern.

### **Unterrichtsmittel**

Verschiedene Dauermagnete (Stabmagnet, Hufeisenmagnet, Manipermagnet, Kompaßnadel), Elektromagnet mit Stromversorgungsgerät, Lamettafäden, dünne Drähte, dünner Faden.

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Grunderscheinungen des Magnetismus.** Die Erfahrungen und Kenntnisse der Schüler sind bezüglich der Grunderscheinungen des Magnetismus meist umfangreicher und gründlicher als bezüglich der elektrostatischen Grunderscheinungen. Der Lehrer kann durch einige Impulse die konkrete Situation in seiner Klasse abschätzen und durch einen kurzen Lehrvortrag mit einigen DE das erforderliche Ausgangsniveau absichern. Dabei sind schon Hinweise auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum elektrischen Feld notwendig.

Zur Auswahl der Grunderscheinungen, die behandelt werden können, gibt das Lehrbuch Hinweise. Die Erörterungen können dabei mit der Frage beginnen, ob ein Magnet nur Eisen anzieht. Der Begriff „ferromagnetischer Stoff“ wird gegeben. Nach der Untersuchung der Kräfte zwischen Magneten und der Formulierung der Ergebnisse wird der erkannte Sachverhalt mit dem Auftreten von Kräften zwischen elektrisch geladenen Körpern verglichen.

Es wird empfohlen, nach einer kurzen Schilderung der Entdeckung Oersteds (Ablenkung einer Magnetnadel, über der oder unter der sich ein stromdurchflossener Leiter befindet) den Schaukelversuch vorzuführen und zu erläutern. Die große technische Bedeutung dieser Erscheinung wird dabei angedeutet.

Nur in leistungsstarken Klassen ist es ratsam, die Kraft zwischen parallelen, vom Strom durchflossenen Leitern zu behandeln. Dabei kann nur festgestellt werden, daß entweder anziehende oder abstoßende Kräfte auftreten, die durch magnetische Erscheinungen hervorgerufen werden. Auf den Zusammenhang mit der Stromrichtung sollte nicht eingegangen werden.

### *Magnetisches Feld, Feldlinienbilder, Magnetfeld der Erde*

2 Stunden

#### **Ziele**

Die Schüler

- wissen, daß im Raum um Dauermagnete und stromdurchflossene Leiter ein magnetisches Feld besteht;
- wissen, wie magnetische Felder nachgewiesen werden können;
- wissen, daß im magnetischen Feld Energie gespeichert ist;
- gelangen zu der Einsicht, daß magnetische Felder real existieren;
- wissen, daß das Feldlinienbild ein Modell des Feldes ist;
- beschreiben Feldlinienbilder eines stromdurchflossenen Leiters, einer stromdurchflossenen Spule und eines Stabmagneten;
- vergleichen Feldlinienbilder einer stromdurchflossenen Spule und eines Stabmagneten;
- wissen, daß die Erde von einem Magnetfeld umgeben ist;
- kennen wesentliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem elektrischen und magnetischen Feld.

#### **Unterrichtsmittel**

Stabmagnet, kleine Magnetnadel mit Träger, entmagnetisierte Magnetnadel,

Körper aus Magneterwerkstoffen (z. B. Lautsprechermagnet, Magnet aus Fahrraddynamo, Haftmagnet, Trafobleche),  
Hußeisenmagnet, Streubüchse mit Eisenfeilspänen, Glasplatte,  
weißer Karton (120 mm × 120 mm),  
Globus,  
Kompaß (Marschkompaß).

### **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**Einführung des Begriffs magnetisches Feld.** Es empfiehlt sich, von der Kraft zwischen Körpern ohne gegenseitige Berührung auszugehen. In Experimenten wird dabei gezeigt, wie magnetische Felder durch die Ausrichtung von Magnetnadeln und unmagnetischen Körpern aus ferromagnetischen Stoffen (entmagnetisierte Magnetnadel) nachgewiesen werden können. Durch ihre Auswertung gewinnen die Schüler die Einsicht, daß ein magnetisches Feld im Raum vorhanden ist, daß es auf Magnete und Körper aus ferromagnetischen Stoffen Kräfte ausübt und daß Körper aus ferromagnetischen Stoffen magnetisch beeinflusst werden. Man sollte stets von den bestehenden Gemeinsamkeiten zwischen dem elektrischen und magnetischen Feld ausgehen. Das dient gleichzeitig der Festigung. Dabei kann geschlossen werden, daß auch das magnetische Feld Träger von Energie sein müßte: Die Schüler werden aufgefordert, nach Möglichkeiten für eine experimentelle Bestätigung dieser Schlußfolgerung zu suchen. Folgendes Experiment ist möglich: Im Feld eines Magneten befindet sich ein Wagen aus Eisen. Durch die auftretenden Kräfte bewegt sich der Wagen auf den Magneten zu. Der Lehrer fragt: Woher stammt die verrichtete Arbeit? Ebenso wird im UG herausgearbeitet, daß Arbeit aufgebracht werden muß, um einen Körper von einem Magneten zu trennen. Diese Arbeit ist dann im Feld zwischen Magneten und Eisenkörper als Energie gespeichert.

**Feldlinienbilder des magnetischen Feldes.** Durch den Unterricht wird den Schülern bewußtgemacht, daß das Feldlinienbild eine zweckmäßige Veranschaulichung des real existierenden Feldes ist. Es empfiehlt sich zu zeigen, wie aus der Anordnung von Eisenfeilspänen ein Feldlinienbild gewonnen werden kann (Projektion der Anordnung der Eisenfeilspäne auf eine Wandtafel, Nachzeichnen einiger Ketten). Das so gewonnene Feldlinienbild gibt Auskunft darüber, wie sich Magnetnadeln im Feld ausrichten (Form des Feldes), und erlaubt einen Schluß auf die relative Stärke des Feldes (Abstand der Feldlinien).

Die Feldlinienbilder für verschiedene Anordnungen können mit Hilfe des Gerätes zur Erzeugung des elektrischen und magnetischen Feldes in Verbindung mit einem Polylix entwickelt werden. Ist wenig Zeit vorhanden, dann genügt es, die Entwicklung des Feldlinienbildes nur anzudeuten und die Abbildungen im LB zu benutzen. Bei der Beschreibung der Felder sollte die im Lehrbuch gegebene Abfolge eingehalten werden.

Durch Vergleich der Feldlinienbilder von Stabmagnet und stromdurchflossener Spule kann die Gleichheit ihrer Form herausgestellt werden. Auf den Verlauf der Feldlinien im Inneren eines Stabmagneten wird nicht eingegangen.

**Die Behandlung des magnetischen Feldes der Erde.** Das Hauptanliegen besteht darin, den Schülern die Existenz dieses Feldes bewußtzumachen (Orientierung einer Magnetnadel) und auf die wichtigsten Formen der Nutzung hinzuweisen (Navigation als klassisches Beispiel). Auf die Lage der Magnetpole bezüglich der geographischen Pole kann nur hingewiesen werden. Dabei wird kurz auf die Festlegung der Benennung der magnetischen Pole eingegangen.

Aus der Bedeutung des erdmagnetischen Feldes für Wissenschaft und Technik (z. B. Ein-

fluß des Strahlungsgürtels, Auffinden von Erzlagerstätten, Prognose für den Funkverkehr) wird die Notwendigkeit einer ständigen Überwachung des magnetischen Feldes abgeleitet (Beispiele auswählen!).

## *Anwendung des Elektromagnetismus*

3 Stunden

In dieser thematischen Einheit werden die Schüler mit den wichtigsten Anwendungen des Elektromagnetismus vertraut gemacht. Das Experiment dient dazu, die Abhängigkeit der Kraft auf einen magnetischen Körper (magnetisiertes Eisen, Dauermagnet) im Magnetfeld hinsichtlich einiger Abhängigkeiten zu untersuchen. Es ist dabei zweckmäßig, die Kenntnisse der Schüler über das physikalische Gesetz und seine Erarbeitung und Formulierung aus Klasse 8 (LB Physik 8, S. 23 ff.) zu reaktivieren. Die Auswahl der Anordnungen zur Anwendung des Elektromagneten muß nach den örtlichen Gegebenheiten und den Vorleistungen aus dem Fach ESP getroffen werden. Im Hinblick auf die Zielstellung des Physikunterrichts ist dabei das physikalisch Wesentliche hervorzuheben.

Bei der Behandlung des Gleichstrommotors wird bewußtgemacht, daß dieser Motor wegen seiner besonderen Eigenschaften eine große technische Bedeutung hat und daß seine Wirkungsweise grundlegend für alle Elektromotoren ist.

Am Ende dieser thematischen Einheit sollten in einer Leistungskontrolle die Kenntnisse der Schüler über die statischen Felder geprüft werden.

### **Ziele**

Die Schüler

- wissen, wovon die Kraft auf einen Körper (aus ferromagnetischem Stoff, Dauermagnet) im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule abhängt;
- können den Aufbau eines Elektromagneten beschreiben und seine Wirkungsweise erklären;
- kennen wichtige Anwendungsbeispiele des Elektromagneten;
- kennen den Aufbau und die Wirkungsweise des Gleichstrommotors;
- können den Aufbau beschreiben und die Wirkungsweise erklären.

### **Unterrichtsmittel**

Geräte für SE: Schülerstromversorgungsgerät, Drehwiderstand (50  $\Omega$ ), Spule 250/750 Windungen, Meßinstrument (Meßbereich 1 A), Stativstab (500 mm), V-Fuß, Achszapfen (80 mm), Federkraftmesser, 2 Tischklemmen, Plastquader, Verbindungsleiter sowie Rundstabmagnet, dünner Faden, Klebband (S) oder Hakenkörper (10 g), drei Manipermagnete ( $\varnothing$  16 mm oder 12 mm), diese Teile werden so zusammengeklebt, daß ein Magnet entsteht (S) je nach Anzahl der Übungsgruppen verschiedene Anker von Motoren

Fo: Gleichstrommotor (S) (Bild 1)

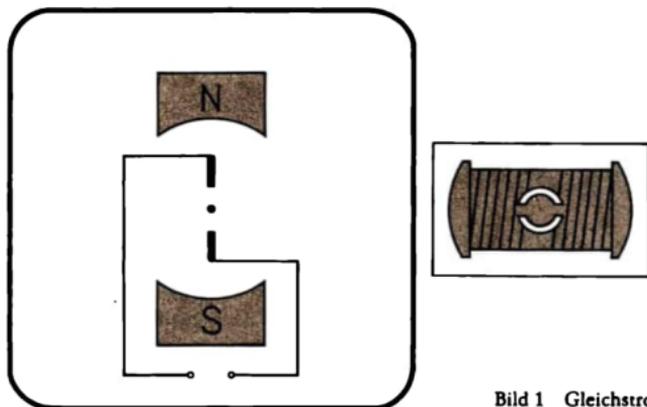


Bild 1 Gleichstrommotor (Folie)

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Untersuchung der Kraft auf einen Magneten im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule.** Es ist zweckmäßig, nach einer kurzen Darlegung der technischen Bedeutung des Elektromagneten die Notwendigkeit der Aufgabe zu begründen, die Kraft auf einen Körper im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule zu untersuchen. Es wird erläutert, warum ein Magnet als Untersuchungskörper gewählt wird. Dieses SE kann auch als DE durchgeführt werden. Wenn die Zeit für die Durchführung des SE sehr knapp ist, dann sollte der Lehrer eine Messung vorführen, so daß die Schüler zielgerichtet arbeiten können. Experimentell ungeschickten Schülern zeigt er insbesondere, daß bei jeder Messung die Aufhängung des Federkraftmessers so verschoben werden muß, daß sich der Körper (Magnet) stets an der gleichen Stelle dicht über der Spule befindet. Eine getrennt-gemeinschaftliche Arbeitsweise bietet sich an. Nach Abschluß der Experimente werden die Resultate der Teilergebnisse zu einem Ergebnissatz vereinigt (qualitative Formulierung mit Tendenzangabe). Der Lehrer fügt hinzu, daß diese Aussagen auch für Körper aus einem ferromagnetischen Stoff gelten. Er ergänzt weiter, daß die Kraft auf bestimmte Körper im Magnetfeld einer stromdurchflossenen Spule noch von weiteren Größen abhängt, insbesondere vom Stoff im Inneren der Spule. Das wird experimentell gezeigt. Der Lehrer weist darauf hin, daß der Spulenkern aus einem Stoff bestehen muß, der nach dem Abschalten des Stromes unmagnetisch wird, andernfalls wird aus dem Kern ein Dauermagnet.

**Behandlung des Elektromagneten und seiner Anwendungen.** Der Lehrer muß hier eine Auswahl treffen. Das Lehrbuch gibt einige Möglichkeiten an (z. B. Lasthebemagnet, Klingel, Relais). Dabei müssen die Kenntnisse aus dem Fach ESP berücksichtigt werden. In jedem Fall sollte aber der grundsätzliche Aufbau eines Elektromagneten und seine Wirkungsweise erläutert werden. Bei der Gegenüberstellung von Dauermagnet und Elektromagnet wird erwähnt, daß die Polarität des Elektromagneten bei Änderung der Stromrichtung wechselt. Bei der Behandlung der Anwendung kann entweder die feldbezogene oder die körperbezogene Betrachtungsweise gewählt werden. Letztere ist vorzuziehen.

Bei der Erörterung der Funktionsweise der elektrischen Klingel ist das Prinzip der Selbstunterbrechung herauszuarbeiten. Bei der Behandlung sollte dabei die Folge von Fragen beachtet werden, die in Klasse 7 bei der Beschreibung technischer Geräte und der Erklärung ihrer Wirkungsweise eingeführt worden ist.

**Behandlung des Gleichstrommotors.** Der Gleichstrommotor steht stellvertretend für alle Elektromotoren. Es geht um die Vermittlung des grundsätzlichen Aufbaus und der Wirkungsweise. Die Behandlung von technischen Einzelheiten gehört nicht in den Physikunterricht. Die körperbezogene Betrachtungsweise hat sich bewährt, d. h., die Wirkungsweise des Elektromotors wird durch Kräfte zwischen den Magnetpolen des Ankers und des Feldmagneten erklärt. Es besteht aber auch die Möglichkeit, die Wirkungsweise durch die Richtwirkung eines Magneten (Ankers) im Magnetfeld (Feldmagnet) zu erklären.

Der Aufbau des Elektromotors kann am Motor-Generator-Modell erarbeitet werden. Dabei wird zunächst auf den Bau des Kollektors nicht eingegangen. (Dies kann aus seiner Funktion entwickelt werden.)

Die Wirkungsweise des Elektromotors wird schrittweise unter Verwendung der vom Lehrer angefertigten Folie mit den Schülern erarbeitet. Dabei steht folgendes Problem im Mittelpunkt: Wie kann eine fortwährende Drehung des Ankers erreicht werden? Zur Lösung dieses Problems werden die Kräfte in verschiedenen Stellungen des Ankers betrachtet. Die Schüler erkennen dabei die Notwendigkeit, daß die Stromrichtung in den Totpunktlagen wechseln muß, damit sich die Polarität des Ankers ändert. Es bietet sich dabei ein Vergleich mit der Arbeitsweise des Drehspulinstrumentes an.

In leistungsfähigen Klassen kann die Energieumwandlung im Hinblick auf die aufgenommene und die abgegebene Energie betrachtet werden. Auf den hohen Wirkungsgrad des Elektromotors wird hingewiesen. Der Lehrer teilt den Schülern mit, daß für den praktischen Einsatz besondere Ankerformen notwendig sind. Auf Mehrpolmaschinen wird nicht eingegangen, ebenfalls nicht auf den Haupt- und Nebenschlußmotor. Verschiedene Ankerformen und Motoren sollten gezeigt werden.

## Stoffeinheit Elektromagnetische Induktion

15 Stunden

### *Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit steht die Erarbeitung des Induktionsgesetzes mit den bedeutsamen Anwendungen Wechselstromgenerator und Transformator. Die Behandlung der Wirkungsweise dieser Geräte trägt wesentlich zur Festigung des Induktionsgesetzes bei. Die Wirbelströme und die Selbstinduktion werden als Sonderfälle der Induktion dargestellt.

Für die *weltanschauliche Bildung und Erziehung* der Schüler ergeben sich in der Stoffeinheit günstige Ansatzpunkte. Es kann dazu beigetragen werden, die Einsicht zu festigen,

- daß die Physik eine bedeutsame Rolle bei der Entwicklung der Produktivkräfte spielt und
- daß durch Experimente in Verbindung mit Modellbetrachtungen Gesetze aufgedeckt werden können.

Bei der *Erarbeitung des Induktionsgesetzes* ist zu berücksichtigen, daß Kompromisse bei der Formulierung dieses Gesetzes in der Klasse 9 notwendig sind. Da die Größen magnetische Induktion  $B$  und magnetischer Fluß  $\Phi$  nicht zur Verfügung stehen, muß die Änderung des magnetischen Flusses verbal umschrieben werden.

Im Lehrbuch wird das Induktionsgesetz wie folgt formuliert: In einer Spule wird eine Spannung induziert, solange sich das von der Spule umfaßte Magnetfeld ändert. Die Induktionsspannung ist umso größer, je schneller diese Änderung erfolgt.

Um den Schülern die hohe Allgemeinheit dieser Aussage bewußt zu machen, werden folgende Schritte durchlaufen:

- Beim Experimentieren werden zunächst Dauermagnete benutzt; das Magnetfeld ist also zeitlich konstant. Durch Relativbewegung zwischen Magnet und Spule kann das von der Spule umfaßte Magnetfeld geändert werden, wie folgende Beispiele zeigen:
  1. Durch Verschieben der Spule in einem inhomogenen Feld kann die Stärke des umfaßten Feldes verändert werden.
  2. Durch Drehung einer Spule in einem konstanten homogenen Magnetfeld kann der räumliche Anteil des von der Spule umfaßten Magnetfeldes verändert werden.
- Wenn der Dauermagnet durch einen Elektromagneten mit konstanter Erregerstromstärke ersetzt wird, ändert sich an den Ergebnissen der Experimente nichts.
- Ändert man die Erregerstromstärke des Elektromagneten, so kann die Stärke des von der Induktionsspule umfaßten Magnetfeldes geändert werden, ohne daß eine mechanische Bewegung erfolgt.

Der notwendige Kompromiß zwischen einer exakten Formulierung mittels des Begriffs magnetischer Fluß und der verbalen Umschreibung muß durch eine methodisch sorgfältig durchdachte Unterrichtsgestaltung unterstützt werden.

Es erweist sich als zweckmäßig, die Schüler über die genannten zwei Grundexperimente (Relativbewegung von Stabmagnet und Spule; Drehen einer Spule im Magnetfeld) mit der Erscheinung der elektromagnetischen Induktion vertraut zu machen. Danach wird durch ein Demonstrationsexperiment, in dem gezeigt wird, daß nicht jede Bewegung der Spule im Magnetfeld zu einer Induktionsspannung führt, eine Problemsituation geschaffen.

Durch den Lehrer geführt, erkennen die Schüler unter Nutzung des Modells Feldlinienbild, daß nur bei den Bewegungen eine Induktionsspannung auftritt, bei denen sich das von der Spule umfaßte Magnetfeld ändert.

Unter Nutzung der Kenntnisse über den Elektromagneten wird die Änderung der Erregerstromstärke als Ursache der Erzeugung von Induktionsspannungen ohne mechanische Bewegung erkannt.

Es wird vorwiegend mit Spulen experimentiert. Für theoretische Überlegungen, die meist mit der Betrachtung von Feldlinienbildern verbunden sind, wird häufig die einzelne Leiterschleife verwendet.

Bei der Untersuchung der Abhängigkeit des Betrages der Induktionsspannung wird die Änderungsgeschwindigkeit des magnetischen Flusses ( $d\Phi/dt$ ) durch das Wort *schnell* umschrieben. Dabei ist zu beachten, daß sowohl der Betrag der Flußänderung als auch die Zeit, in der diese erfolgt, eine Rolle spielen. So kann z. B. eine relativ geringe Änderung des Feldes, wenn sie in sehr kurzer Zeit erfolgt, zu einer hohen Induktionsspannung führen.

Die Abhängigkeit der Induktionsspannung von der Windungszahl der Induktionsspule und vom Vorhandensein eines Eisenkerns wird untersucht. Auf die Abhängigkeit der Induktionsspannung vom Querschnitt der Induktionsspule wird hingewiesen.

Bei allen Experimenten muß sorgfältig zwischen felderzeugender Anordnung und Induktionsspule unterschieden werden, um eine Verwechslung von Induktionsspule und der Spule des felderzeugenden Elektromagneten zu vermeiden.

Das *Lenzsche Gesetz* wird über Betrachtungen zur Energiewandlung bei der elektromagnetischen Induktion eingeführt.

An Hand von Experimenten mit einer rotierenden Induktionsspule im Magnetfeld bzw. einem rotierenden Magneten und feststehender Induktionsspule wird der Begriff der *Wechselspannung* geprägt.

Unter Nutzung des Feldlinienbildes wird herausgearbeitet, daß bei gleichen Winkeländerungen verschiedenen Stellungen der Leiterschleife unterschiedliche Feldänderungen entsprechen, wenn die Leiterschleife gleichmäßig rotiert.

Durch geeignete Veranschaulichung (z. B. Folie mit drehbarer Leiterschleife) werden diese Änderungen deutlich gemacht.

Über die im Lehrbuch dargestellten Experimente werden die Schüler mit dem *u-t*-Diagramm und dem *i-t*-Diagramm bekanntgemacht; die Begriffe Maximalwert und Effektiv-

wert werden eingeführt. Anknüpfend an die Möglichkeiten zur Erzeugung von Wechselspannungen werden Aufbau und Wirkungsweise des technisch bedeutsamen *Wechselstromgenerators* (Innenpolmaschine) behandelt.

Ausgehend von den Erfahrungen der Schüler, daß in der Praxis unterschiedliche Spannungen benötigt werden, wird der *Transformator* als Spannungswandler eingeführt. Mit Hilfe eines verbindlichen Schülerexperimentes wird die Gleichung für die Spannungsübersetzung beim idealen Transformator (Leerlauf) erarbeitet. Die Stromstärkeübersetzung am sekundär kurzgeschlossenen Transformator (hohe Belastung) wird aus den Ergebnissen eines Demonstrationsexperimentes gewonnen.

Die Rolle des Transformators für den Transport elektrischer Energie ist Gegenstand des ESP-Unterrichts der Klasse 10.

In der Stoffeinheit sind die zahlreichen Möglichkeiten zu nutzen, das Induktionsgesetz für *Voraussagen und Erklärungen* der Wirkungsweise technischer Geräte und physikalischer Erscheinungen wie Wirbelströme und Selbstinduktion anzuwenden.

Die *Weiterentwicklung der experimentellen Befähigung* der Schüler bezieht sich vorwiegend auf das Aufbauen umfangreicher Schaltungen und auf das Messen von Wechselspannungen und Wechselstromstärken.

In den einzelnen Stunden sind immanent *historische Betrachtungen* über die Entdeckung der elektromagnetischen Induktion und die Nutzung dieser Erscheinung in Technik und Produktion anzustellen. Die Schüler erkennen die große Bedeutung, die die elektromagnetische Induktion für die Entwicklung der Produktivkräfte und damit für die Entwicklung der Menschheit hatte. Durch langfristig vorbereitete Schülervorträge wird das Leben und Wirken Michael Faradays dargestellt und seine Vorbildwirkung als Forscher herausgearbeitet.

Zum Thema „Elektromagnetische Induktion“ liegen zwei *Fernsendungen* vor.

Die erste Sendung hat die historische Entdeckung der elektromagnetischen Induktion zum Inhalt und gibt einen Ausblick auf die Anwendung im Generator und im Transformator.

Die zweite Sendung zeigt die Anwendung der Wirbelströme in der Technik und erläutert im Trick die Entstehung der Wirbelströme. Die erste Fernsendung sollte nach der Behandlung des Induktionsgesetzes eingesetzt werden mit dem Ziel, die historischen Bedingungen der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion kennenzulernen und eine Motivation für die nachfolgende Behandlung des Generators und Transformators zu schaffen.

Die zweite Fernsendung wird in die thematische Einheit Wirbelströme integriert und durch Demonstrationsexperimente ergänzt.

Die didaktisch-methodische Arbeit wird in der Stoffeinheit auf die Vermittlung des folgenden *grundlegenden Wissens und Könnens* gerichtet, das auch Gegenstand der Leistungskontrolle sein soll:

- Interpretieren und Anwenden des Induktionsgesetzes,
- Abhängigkeit der Induktionsspannung vom Bau der Induktionsspule,
- Erläutern der Energieumwandlungen bei der elektromagnetischen Induktion,
- Beschreiben der Erzeugung von Wechselspannungen und Wechselströmen,
- Beschreiben des Aufbaus und Erklären der Wirkungsweise eines Wechselstromgenerators,
- Beschreiben des Aufbaus und Erklären der Wirkungsweise eines Transformators,
- Interpretieren und Anwenden der Gesetze des Transformators,
- Erklären von Erscheinungen der Selbstinduktion.

Für die *Festigung und Kontrolle* sind 2 Stunden vorgesehen.

Eine *Systematisierung* sollte die im Lehrplan festgelegten Fälle

- Bewegung zwischen Induktionsspule und felderzeugender Anordnung
  - Veränderung der Stärke des Magnetfeldes des Elektromagneten bei nicht bewegten Geräten
- und die Zuordnung der Anwendungen noch einmal verdeutlichen.

In einer schriftlichen *Leistungskontrolle* sollten Aufgaben unterschiedlicher Anforderungen enthalten sein. Es ist anzustreben, jeweils eine Aufgabe aus einer der vier Gruppen auszuwählen.

Vorschlag für eine Leistungskontrolle

### I Reproduzieren von Gesetzen

1. Nennen Sie das Induktionsgesetz!
2. Geben Sie die Gesetze für die Spannungsübersetzung und die Stromstärkeübersetzung am Transformator an!  
Unter welchen Bedingungen gelten diese Gesetze?
3. Nennen Sie das Lenzsche Gesetz!  
Erläutern Sie an einem Beispiel das Wirken dieses Gesetzes!

### II Anwenden des Induktionsgesetzes

1. Eine Spule wird
  - a) in einem homogenen Magnetfeld verschoben
  - b) in einem homogenen Magnetfeld gedreht
  - c) aus dem homogenen Magnetfeld herausbewegt.Geben Sie an, in welchen Fällen eine Induktionsspannung entsteht!  
Begründen Sie Ihre Aussagen!
2. In der Experimentieranordnung (Folie, Bild 2) werden Erregerstromstärken von 1 A, 2 A und 3 A eingestellt.  
Vergleichen Sie die Induktionsspannungen, die beim Ausschalten dieser Erregerstromstärken entstehen!  
Begründen Sie Ihre Aussagen!

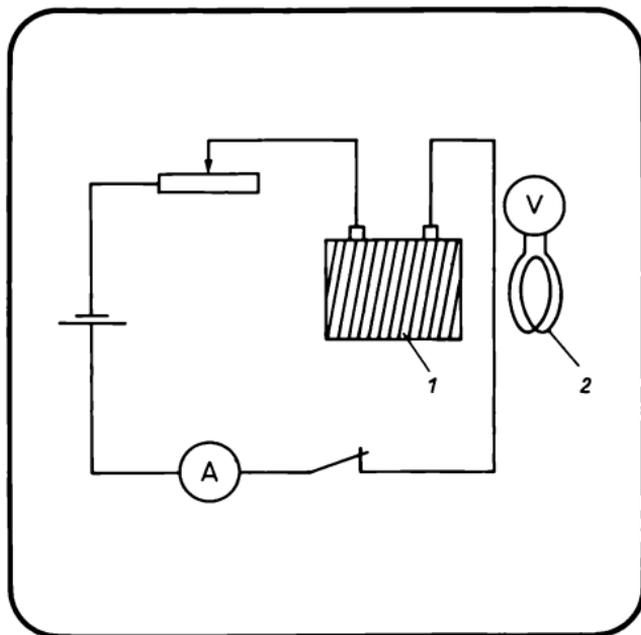


Bild 2  
Vorschlag für eine  
Leistungskontrolle  
(Folie)

3. Mit einer Experimentieranordnung (Folie, Bild 2) werden verschiedene Experimente durchgeführt. Geben Sie an, in welchen Fällen in Spule 2 eine Induktionsspannung entsteht!

Begründen Sie Ihre Entscheidung!

- Der Stromkreis der Spule 1 wird geschlossen (Einschalten).
- Der Stromkreis der Spule 1 ist geschlossen.
- Der Stromkreis der Spule 1 wird geöffnet (Ausschalten).
- Der Abgriff des Widerstandes wird bei geschlossenem Schalter hin- und hergeschoben.

### III Beschreiben des Aufbaus und Erklären der Wirkungsweise technischer Geräte

- Beschreiben Sie den Aufbau eines Transformators!  
Erklären Sie die Wirkungsweise!
- Beschreiben Sie den Aufbau eines Wechselstromgenerators!  
Erklären Sie die Wirkungsweise!
- Beschreiben Sie den Aufbau von Eisenkernen bei elektrischen Maschinen!  
Begründen Sie den Aufbau!

### IV Lösen von Aufgaben

1. Über Transformatoren liegen folgende Angaben vor:  
Vervollständigen Sie!

$U_1$ in V	$U_2$ in V	$N_1$	$N_2$
10	30	250	1000
	40	250	1500
20		500	

- Ein Transformator ( $N_1 = 750$ ,  $N_2 = 1500$ ) wird hoch belastet. Die Primärstromstärke beträgt 0,8 A. Wie groß ist die Sekundärstromstärke im Idealfall?
- In einem homogenen Magnetfeld werden Spulen gedreht (vgl. LBA 27/2). Vergleichen Sie die entstehenden Induktionsspannungen  $U_1$  und  $U_2$ !

Drehung	Windungsanzahl	Querschnitt der Spule	Induktionsspannung
a) langsam schnell	$N_1$ $N_1$	$A_1$ $A_1$	$U_1$ $U_2$
b) langsam langsam	250 500	$A_1$ $A_1$	$U_1$ $U_2$
c) schnell schnell	$N_1$ $N_1$	10 cm <sup>2</sup> 30 cm <sup>2</sup>	$U_1$ $U_2$

## Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reakti- vierendes Wissen	Experimente, besondere Unter- richtsmittel, Schüleraufträge
<b>Stoffabschnitt Induktionsgesetze (5 Stunden)</b>		
Bedingungen für die elek- tromagnetische Induktion 2 Std.	Elektrischer Stromkreis (Ph 8) Elektroenergie (Ph 8) Feldlinienbilder magneti- scher Felder Faraday und Feldbegriff (Ph 9)	Bücher: Conrad: Erfinder, Erforscher, Ent- decker; Backe: Rund um die Physik Funktionsmodell eines Generators oder Fahrraddynamo Gerät zur Herleitung des Induk- tionsgesetzes SE: Nachweis einer Induktions- spannung DE: Bedingungen für Induktions- spannungen DE: Erzeugen von Induktions- spannungen durch Änderung der Erregerstromstärke eines Elektro- magneten
Induktionsgesetz Lenz'sches Gesetz 2 Std.	Stärke des Magnetfeldes (Ph 9) Umwandlung von Energie (Ph 7)	Fahrraddynamo, Wägestücke, Rolle, DE: Abhängigkeit der Induktions- spannung von der Änderungsge- schwindigkeit des magnetischen Feldes SE: Abhängigkeit der Induktions- spannung von der Windungsan- zahl der Induktionsspule DE: Abhängigkeit der Induktions- spannung vom Querschnitt der In- duktionsspule DE: Federschwinger mit Dauer- magnet und Spule
Historische Betrachtung zur Induktion 1 Std.		Experimentieranordnung nach Fa- raday Fernschendung: Die elektroma- gnetische Induktion
<b>Stoffabschnitt Wechselstromgenerator und Transformator (6 Stunden)</b>		
Wechselstrom und Wech- selstromgenerator 2 Std.		DE: Anordnung nach PhiS 7/8 1985 SE: Messen von Wechselspannun- gen und Wechselstromstärken DE: Wechselstromgenerator (In- nenpolmaschine)

Aufbau und Wirkungsweise des Transformators 4 Std.	Leerlauf- und Klemmenspannung (Ph 8) Wirkungsgrad von Anlagen für Energiewandlung (Ph 7)	DE: Induktion einer Wechselspannung in der Sekundärspule eines Transformators SE: Spannungsübersetzung am Transformator (Leerlauf) DE: Abhängigkeit der Sekundärspannung und der Primärstromstärke eines Transformators von der Belastung DE: Stromstärkeübersetzung am sekundär kurzgeschlossenen Transformator DE: Modell der Zündanlage eines Kraftfahrzeugs DE: Modell eines Schweißtransformators
Stoffabschnitt Wirbelströme und Selbstinduktion (4 Stunden)		
Wirbelströme 1 Std.	Wärmewirkung des Stromes (Ph 8)	DE: Transformator mit Volleisenkern und geblättertem Kern (LB S. 46) DE: Waltenhofensches Pendel
Selbstinduktion 1 Std.		Universalgenerator DE: Selbstinduktion beim Einschalten von Glühlampen DE: Selbstinduktion beim Ausschalten durch eine Glimmlampe DE: Darstellen des $I-t$ -Diagramms für eine Spule
Festigung und Kontrolle 2 Std.		

### *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*

#### *Bedingungen für die elektromagnetische Induktion*

2 Stunden

#### **Ziele**

Die Schüler

- erfassen die Bedeutung der Bereitstellung elektrischer Energie durch Generatoren;
- können Feldlinienbilder zur Auswertung von Induktionsexperimenten nutzen;
- erkennen, unter welchen Bedingungen bei Bewegung von Spulen im Magnetfeld elektromagnetische Induktion auftritt;
- wissen, daß die Änderung des von der Spule umfaßten Magnetfeldes auch durch die Änderung der Stärke des Feldes eines Elektromagneten erfolgen kann.

## Unterrichtsmittel

### Motor-Generator-Modell

Gerät zur Herleitung des Induktionsgesetzes,  
Aufbausatz zur Elektrizitätslehre,  
SEG – Elektrik

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung in die Stoffeinheit.** Als Ausgangspunkt kann der Einführungsabschnitt im Lehrbuch genutzt werden. Von den Erfahrungen der Schüler ausgehend wird gezeigt, daß eine Lampe sowohl mit einer Taschenlampenbatterie als auch mit einem Generator (Fahrraddynamo) zum Leuchten gebracht werden kann. Für die vom Generator erzeugte Spannung und Stromstärke werden die Begriffe Induktionsspannung und Induktionsstrom eingeführt. Zielorientierend für die Stoffeinheit werden die Fragen nach den Bedingungen für die Entstehung einer Induktionsspannung und wovon deren Betrag abhängig ist, herausgearbeitet.

**Bedingungen für die elektromagnetische Induktion.** Eine Analyse des Aufbaus eines Fahrraddynamos zeigt, daß die wesentlichen Bauelemente der drehbare Magnet und die Spule sind. In einem einfachen Schülerexperiment erkennen die Schüler, daß bei einer Bewegung zwischen Spule und Magnet eine Induktionsspannung entsteht.

Durch ein anschließendes Demonstrationsexperiment mit dem Gerät zur Herleitung des Induktionsgesetzes wird eine *Problemsituation* geschaffen: Es werden verschiedene Bewegungen einer Induktionsspule im Magnetfeld ausgeführt, darunter auch solche, bei denen keine Induktionsspannung entsteht (Bewegung der Spule in Richtung der Feldlinien und im homogenen Teil des Feldes senkrecht zu den Feldlinien). Davon ausgehend wird die Frage nach den wesentlichen Bedingungen für die Entstehung einer Induktionsspannung herausgearbeitet.

Die Schüler erkennen aus dem Vergleich verschiedener Feldlinienbilder (LB, S. 27), daß eine Spannung induziert wird, wenn sich bei der Bewegung zwischen Spule bzw. Leiter Schleife und Magnet die Anzahl der von der Spule umschlossenen Feldlinien und damit das von der Spule umfaßte Magnetfeld ändert und daß bei anderen Bewegungen keine Spannung induziert wird.

Zur Festigung kann noch einmal auf das erste Schülerexperiment zurückverwiesen werden und mittels Folien (Spule und Stabmagnet mit Feldlinien) gezeigt werden, daß auch hierbei die Anzahl der von der Spule umfaßten Feldlinien bei der Relativbewegung von Dauermagnet und Spule geändert wurde.

Bei der weiteren Erörterung der Frage nach den wesentlichen Bedingungen für die Entstehung einer Induktionsspannung wird, ausgehend von den gewonnenen Teilerkenntnissen, nach weiteren Möglichkeiten gesucht, eine Änderung des von der Spule umfaßten Magnetfeldes zu erreichen. Als heuristische Hilfe zum Finden von Lösungsideen können die Kenntnisse über den Elektromagneten reaktiviert werden.

Die Schüler sollten möglichst selbstständig (eventuell in einer Hausarbeit) Experimentieranordnungen entwickeln, in denen z. B. die Erregerstromstärke eines Elektromagneten geändert wird und dadurch die Änderung der Stärke des von einer geeignet angeordneten Induktionsspule umfaßten Magnetfeldes ermöglicht wird.

Die Überprüfung der Lösungsideen erfolgt durch Demonstrationsexperimente (PSV 9; V 2.1.3.; V 2.1.4. Versuch 3).

Zusammenfassend kann nun festgehalten werden, daß in einer Spule eine Induktionsspannung entsteht, solange sich das von der Spule umfaßte Magnetfeld ändert. Rückblickend

auf das Vorgehen bei der Erarbeitung und auch im Hinblick auf die noch zu behandelnden Anwendungsbeispiele Generator und Transformator muß betont werden, daß die Änderung des umfaßten Magnetfeldes sowohl den räumlichen Anteil als auch die Stärke des Magnetfeldes betreffen kann.

## *Induktionsgesetz*

2 Stunden

### **Ziele**

Die Schüler

- wissen, daß der Betrag der Induktionsspannung von der Geschwindigkeit der Änderung des von der Spule umfaßten Magnetfeldes abhängt;
- kennen die Abhängigkeit des Betrages der Induktionsspannung von der Windungszahl und vom Vorhandensein eines Eisenkerns;
- können das Induktionsgesetz formulieren;
- können das Gesetz von der Erhaltung der Energie auf Erscheinungen der elektromagnetischen Induktion anwenden;
- kennen das Lenzsche Gesetz;
- können das Lenzsche Gesetz und das Induktionsgesetz bei der Erklärung von Induktionserscheinungen anwenden.

### **Unterrichtsmittel**

Gerät zur Herleitung des Induktionsgesetzes,  
Fahrraddynamo

### **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**Induktionsgesetz.** In Anknüpfung an die zielorientierenden Fragen bei der Einführung in die Unterrichtseinheit wird in einer Reihe von Experimenten untersucht, wovon der Betrag der Induktionsspannung abhängt. Zunächst werden verschiedene Dauermagneten mit unterschiedlicher Geschwindigkeit in eine Spule hineinbewegt oder es wird das im LB, S. 29, beschriebene Experiment durchgeführt. Danach werden verschiedene Teilerperimente mit Elektromagnet und Induktionsspule gezeigt (vgl. LB, S. 30).

Bei der Auswertung wird herausgearbeitet:

Die Induktionsspannung ist umso größer,

- je größer die Änderung der Stärke des Magnetfeldes in der gleichen Zeit ist und
  - je kürzer die Zeit ist, in der die gleiche Änderung der Stärke des Magnetfeldes erfolgt.
- Beides kann zu dem im LB, S. 30, enthaltenen Merksatz zusammengefaßt werden.

Nach Reaktivieren der Bedingungen für die elektromagnetische Induktion wird das Induktionsgesetz (LB, S. 30) formuliert. Zur Erarbeitung der Abhängigkeit der Induktionsspannung von der Windungszahl der Induktionsspule wird das Schülerexperiment (LB, S. 31) durchgeführt. Bei der Planung des Experiments sollte in Weiterführung der Befähigung der Schüler aus Klasse 8 betont werden, daß bei der Untersuchung des Zusammenhanges zwischen zwei Größen alle anderen Größen konstant zu halten sind. Im Schülerexperiment wird ferner das Aufbauen einer relativ umfangreichen Schaltung geübt. Durch Demonstrationsexperiment mit dem Gerät zur Herleitung des Induktionsgesetzes wird die Abhängig-

keit der Induktionsspannung vom Querschnitt der Spule und vom Vorhandensein eines Eisenkerns demonstriert.

**Energieumwandlungen bei der elektromagnetischen Induktion.** Der im LB, S. 32, dargestellte Sachverhalt kann durch folgendes Experiment veranschaulicht werden. An einem Fahrraddynamo wird das Antriebsrad durch eine Rolle ersetzt. Auf die Rolle wird ein Faden gewickelt, an dem ein Hakenkörper befestigt ist. Beim Absinken des Hakenkörpers sind unterschiedliche Bewegungen beobachtbar, je nachdem, ob an dem Fahrraddynamo Glühlampen angeschlossen sind bzw. ein Kurzschluß erfolgt oder der Stromkreis offen ist.

In einem weiteren Experiment (LB, S. 32) wird gezeigt, daß auch bei anderen Induktionsercheinungen Energieumwandlungen auftreten. Zunächst wird gezeigt, daß bei der Bewegung des Magneten in der Spule ein Induktionsstrom entsteht. Danach wird die Spule kurzgeschlossen, um die stärkste Bremswirkung zu erreichen. Die Schüler nennen die im Experiment auftretenden Energieumwandlungen und erklären die Erscheinung. (Zur Befestigung des Stabmagneten an der Feder dient ein Hakenkörper (z. B. 50 g), an dem der Stabmagnet aus dem Aufbausatz oder ein Magnet aus Maniperplättchen haftet.)

Die Formulierung des Lenzschen Gesetzes sollte im Lehrervortrag erfolgen. Die Erörterung der Unmöglichkeit eines perpetuum mobile kann im Unterrichtsgespräch durchgeführt werden.

## *Historische Betrachtungen zur Induktion*

1 Stunde

### **Ziele**

Die Schüler

- können die historische Leistung von M. Faraday würdigen;
- können das Induktionsgesetz und das Lenzsche Gesetz anwenden.

Beim Schüler wird die Einsicht vertieft, daß wissenschaftliche Leistungen nur bei intensiver, ausdauernder Arbeit erreicht werden.

### **Unterrichtsmittel**

Literatur für Schülervortrag:

T. Bores: „Guten Tag, Herr Ampère“ (S. 87 bis 89)

H. Backe: „Rund um die Physik“ (S. 126 bis 135)

W. Conrad: „Erfinder, Erforscher, Entdecker“ (S. 92 bis 94)

W. Basan: „Der enträtselte Himmel“

Dazu für den Lehrer: Biographien hervorragender Naturwissenschaftler, Techniker und Mediziner: W. Schütz: „Michael Faraday“

Fernsehsendung: Die elektromagnetische Induktion I

### **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

Für diesen Unterrichtsabschnitt werden 4 Schwerpunkte vorgeschlagen, von denen mindestens 2 je nach Klassensituation realisiert werden sollten.

**Schülervortrag zur Biographie M. Faraday.** Der Vortrag sollte enthalten: Biographisches, wichtige Entdeckungen, Wertungen der Persönlichkeit und ihrer Rolle für die Entwicklung der Physik. Besonders sollte der Arbeitsstil Faradays beleuchtet werden und seine Persönlichkeitseigenschaften Zielstrebigkeit, Genauigkeit, Sorgfalt, Verhältnis zu Kritik und Selbstkritik, Ausdauer, Fleiß, Bescheidenheit herausgestellt werden. Die Bedeutung solcher Persönlichkeitseigenschaften und ihrer Entfaltungsmöglichkeiten in unserer Gesellschaft sollten erläutert werden.

**Faraday-Experiment.** In einem zweiten Schülervortrag wird das historische Experiment nachgebildet. Die Erklärung sollten die Schüler unter Leitung des Vortragenden Schülers selbst geben. (Beschreibung des Experimentes in Backe, H.: „Physik selbst erlebt“, S. 261/62, 264/265 und Faraday, M.: „Experimentaluntersuchungen über Elektrizität. In: Ostwaldsche Klassiker der exakten Wiss. Nr. 81, und Schütz, W.: „Michael Faraday“, S. 37 und 38).

Zur Nachgestaltung des historischen Experiments dient eine Experimentieranordnung, bei der auf einem Kochring aus Klingeldraht 2 Spulen (100 bis 200 Windungen) gewickelt werden. Man verwende hierzu Draht mit unterschiedlich gefärbter Isolierung. Die eine Spule wird über einen Schalter an ein Stromversorgungsgerät angeschlossen. Der Nachweis der Induktionsspannung in der zweiten Spule erfolgt über ein Demonstrationsmeßgerät. (Bei der Durchführung ist zu beachten, daß der Eisenkern während des Stromflusses magnetisiert wird. Für eine Wiederholung muß er durch einen Hammerschlag entmagnetisiert werden.)

**Fernsendung.** Die Sendung wird vollständig in die Stunde integriert. Dabei erhalten die Schüler Aufträge, die die historische Einordnung der Entdeckung der elektromagneti-

$I_{err}$	$N_1$	$N_2$	$U_{ind}$
4 A	250 Wdg.	500 Wdg.	$U_1$
2 A	250 "	500 "	$U_2$
2 A	250 "	500 "	$U_3$
2 A	500 "	500 "	$U_4$
1 A	250 "	500 "	$U_5$
1 A	250 "	750 "	$U_6$
3 A	500 "	750 "	$U_7$
3 A	500 "	250 "	$U_8$

Vergleichen Sie jeweils 2 Induktionsspannungen beim Einschalten des Erregerstromkreises!

Bild 3  
Anwendung  
der Induktion  
(Folie)

schen Induktion, die Würdigung der Arbeit Faradays und die Bedeutung der Entdeckung für die Entwicklung der Produktivkräfte zum Inhalt haben. Die Sendung dient gleichzeitig zur Motivation der nachfolgenden Behandlung von Generator und Transformator.

**Anwendungsbeispiele zum Induktionsgesetz.** Es werden zwei Varianten vorgeschlagen, die die Berücksichtigung der konkreten Klassensituation bzw. differenzierten Aufgabenstellungen innerhalb der Klasse ermöglichen:

Variante 1: Lösen von Aufgaben mittels Arbeitsfolie (Bild 3)

Variante 2: Lösen der Aufgaben LB, S. 50, Aufg. 2, Aufg. 3. Eine Bestätigung durch das Experiment sollte erfolgen.

## *Wechselstrom und Wechselstromgenerator*

2 Stunden

### **Ziele**

Die Schüler

- können die Erzeugung einer Wechselspannung beim Drehen einer Induktionsspule im Magnetfeld beschreiben;
- kennen das  $u-t$ -Diagramm und das  $i-t$ -Diagramm;
- können die Begriffe Effektivwert und Maximalwert unterscheiden;
- können Spannungs- und Stromstärkemessungen für Wechselstrom ausführen;
- können den Aufbau eines Wechselstromgenerators beschreiben;
- können die Wirkungsweise eines Wechselstromgenerators unter Anwendung der Kenntnisse über das Induktionsgesetz und die Feldlinienbilder erklären.

Bei den Schülern wird am Beispiel des Generators die Einsicht vertieft, daß die Erkenntnisse über physikalische Gesetzmäßigkeiten bewußt bei der Konstruktion technischer Geräte genutzt werden.

### **Unterrichtsmittel**

Motor-Generator-Modell

Gerät zur Herleitung des Induktionsgesetzes

Katodenstrahloszillograph

Experimentiermotor

Polwendeschalter

Fahrraddynamo

### **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**Wechselspannung.** In diesem Stundenabschnitt wird die am Beginn der Stoffeinheit aufgeworfene Ausgangssituation – Elektroenergieerzeugung mittels Generator – wieder aufgegriffen. Eine Spule wird im homogenen Magnetfeld gleichmäßig gedreht. Die Schüler beobachten eine Spannung wechselnder Polarität. Dazu kann folgende Experimentieranordnung (Bild 4) genutzt werden: Die Induktionsspule wird auf dem Polwendeschalter befestigt und im Magnetfeld des Induktionsgerätes gedreht. Über die Schleifringe wird ein Meßgerät angeschlossen. So kann gezeigt werden, daß die Induktionsspannung Werte zwischen positiven und negativen Maximalwerten annimmt (vgl. auch PhiS 7/8 1985).

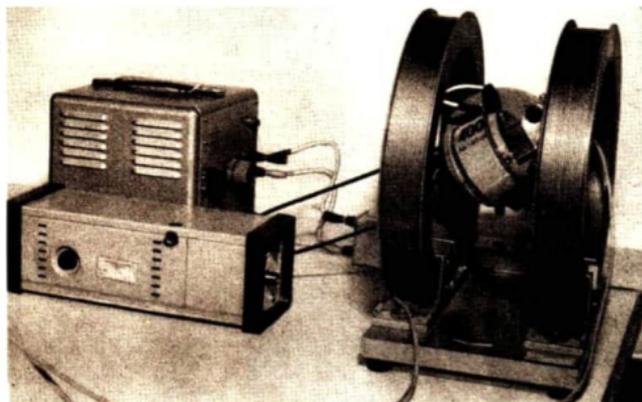


Bild 4  
Experimentieranordnung

Durch den Anschluß eines Oszillographen kann der Übergang zum  $u$ - $t$ -Diagramm erfolgen. Der Schüler nimmt unter Einsatz des Experimentiermotors unmittelbar die Sinuskurve wahr.

Variationen durch Änderung der Drehzahl und Änderung des Maximalausschlages durch Änderung des Erregerfeldes sind möglich. In selbständiger Arbeit mit dem Lehrbuch (S. 36) erarbeiten sich die Schüler, wie die  $u$ - $t$ -Kurve entsteht. Dabei wenden sie das Induktionsgesetz an.

Mit Hilfe von Folien oder Schattenprojektion einer Fläche wird die unterschiedliche Änderung des von der Spule umfaßten Magnetfeldes bei gleichen Winkeländerungen (von  $0^\circ$  bis  $20^\circ$ , von  $80^\circ$  bis  $100^\circ$ , von  $170^\circ$  bis  $190^\circ$  usw.) veranschaulicht.

Mit Hilfe des Gerätes zur Herleitung des Induktionsgesetzes wird dieses experimentell nachgewiesen.

**Effektivwerte.** Zur Behandlung der Effektivwerte wird den Schülern demonstriert, daß Gleichstrommeßgeräte für Wechselstrom nicht geeignet sind (gleichzeitige Anzeige am Meßgerät und am Oszillographen). Durch Umschalten des Meßgerätes auf einen Wechselspannungsbereich erfolgt bei konstanter Drehzahl ein konstanter Zeigerausschlag des Meßgerätes, der Effektivwert wird angezeigt.

Es wird den Schülern mitgeteilt, daß die angezeigten Werte am Wechselstrommeßgerät (Effektivwerte) kleiner als die Maximalwerte sind.

Im Schülerexperiment wird die Befähigung der Schüler zum Ablesen von Meßwerten auf Wechselstrombereiche erweitert.

**Wechselstromgenerator.** Nachdem die Schüler in Fortsetzung der Experimente mit dem Gerät zur Herleitung des Induktionsgesetzes die physikalischen Begriffe Wechselspannung und Wechselstrom erfaßt haben, erfolgt der Übergang zum Wechselstromgenerator (Innenpolmaschine).

**1. Variante (illustrativ-erläuternd):** Die Erzeugung von Wechselspannung wird mit dem Generatormodell demonstriert. Dazu befestigt man den Stabmagneten aus dem Aufbausatz auf der Gleitlagerachse. Der Befestigungsring für die Statorspulen ist vom Ständer mit der feststehenden Achse zu lösen (Bild 5). Ausgehend von den Ergebnissen des Experiments wird die Frage nach konstruktiven Veränderungen des Generators zur Erhöhung der Span-

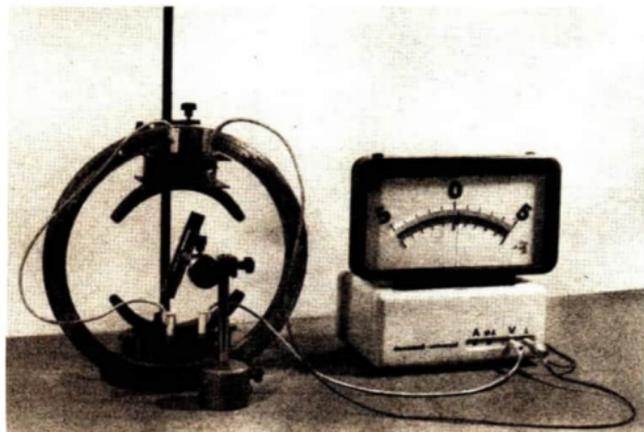


Bild 5  
Experimentieranordnung

nungen und Stromstärken aufgeworfen. Die Schüler können die Erhöhung der Windungszahlen und den Einsatz eines Elektromagneten anführen. Im Experiment werden diese Möglichkeiten untersucht. Der Fahrraddynamo wird im Aufbau gezeigt, und die Schüler erkennen, daß es sich um einen Wechselstromgenerator handelt.

**2. Variante (selbständige Bearbeitung eines Konstruktionsproblems):** Dazu wird als vorbereitende HA folgender Auftrag vergeben: Wie kann die Erkenntnis aus dem Experiment: „Rotation eines Magneten vor einer Spule“ zur Konstruktion eines Spannungserzeugers genutzt werden? Wie könnte diese Maschine aufgebaut sein? Die Schüler können den Auftrag in Lerngruppen bearbeiten. Auf einer Folie ist das Ergebnis dieser Gruppenarbeit festzuhalten. In der Unterrichtsstunde stellen die Schüler oder Schülergruppen ihre Vorschläge vor. Bei der Darstellung der Konstruktionsvorschläge und in der Diskussion ist darauf zu achten, daß die Schüler ihre Vorschläge auch begründen. Dabei sollen sie ihre Kenntnisse über die elektromagnetische Induktion bewußt einsetzen.

Mit Hilfe des Generatormodells sind die Grundideen der vorgeschlagenen Konstruktionen zu überprüfen.

Sollte kein Vorschlag dem Generatormodell mit Elektromagneten entsprechen, so ist diese Anordnung durch den Lehrer zu geben und die Vorteile sind zu demonstrieren.

Der Aufbau und die Wirkungsweise des Fahrraddynamos kann als Schülervortrag oder als Lehrervortrag die Erörterung zum Wechselstromgenerator vervollständigen.

## *Aufbau und Wirkungsweise des Transformators*

4 Stunden

### **Ziele**

Die Schüler

- können den Aufbau eines Transformators beschreiben;
- können die Wirkungsweise eines Transformators mit Hilfe der Kenntnisse über das Induktionsgesetz erklären;

- können aus Meßreihen Abhängigkeiten erkennen;
  - kennen die Gleichung für die Spannungsübersetzung  $U_1/U_2 = N_1/N_2$  (Leerlauf);
  - kennen die Abhängigkeit der Sekundärspannung und der Primärstromstärke von der Belastung;
  - kennen den Zusammenhang zwischen den Windungsanzahlen und den Stromstärken am hochbelasteten Transformator;
  - kennen die Energieumwandlungen am realen Transformator;
  - können die Gesetze des Transformators zur Erklärung der Wirkungsweise technischer Anwendungen heranziehen;
  - können Aufgaben mit den Gleichungen  $U_1/U_2 = N_1/N_2$  und  $I_1/I_2 = N_2/N_1$  lösen.
- Bei den Schülern wird die Einsicht gefestigt,
- daß durch Experimente Gesetze aufgedeckt werden können,
  - daß der Mensch physikalische Gesetze zur Lösung technischer Aufgaben nutzt.

## Unterrichtsmittel

Aufbausatz zur Elektrizitätslehre  
 SEG Elektrik  
 Katodenstrahloszillograph

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Aufbau des Transformators.** Zur Motivation geht der Lehrer von den Erfahrungen der Schüler aus, daß in der Praxis unterschiedliche Spannungen und Stromstärken benötigt werden (Fernleitung, Haushalt, Modelleisenbahn, Klingel). Den Aufbau des Transformators können die Schüler aus dem Lehrbuch entnehmen. Der Lehrer analysiert einen Aufbau-Transformator und zeigt die Teile.

**Wirkungsweise.** Als Gruppenarbeit erhalten die Schüler den Auftrag vorzusagen, welchen Einfluß das Anlegen einer Wechselspannung an die Primärspule auf die Sekundärspule hat. Dazu reaktivieren sie das Induktionsgesetz.

Bei der Darstellung der Ergebnisse der Gruppenarbeit ist darauf zu achten, daß die Schüler ihre Aussagen ausreichend begründen. Bei der experimentellen Überprüfung der Voraussagen ist auch ein Oszillograph zu verwenden, um zu zeigen, daß eine Wechselspannung entsteht.

Als Variante bietet sich folgendes Vorgehen an: Nach dem Demonstrieren der Induktion einer Wechselspannung in der Sekundärspule erarbeiten die Schüler in Gruppenarbeit Erklärungen.

**Spannungsübersetzung am Transformator.** In einem Schülerexperiment wird in getrennt-gemeinschaftlicher Arbeitsweise die Gleichung  $N_1/N_2 = U_1/U_2$  erarbeitet. Die Vorbereitung (LB, S. 40) erfolgt als Hausaufgabe. Die vorbereiteten Schaltpläne werden kontrolliert. Die Windungsanzahlen und Spannungen für die Schülergruppen werden mittels Folie (Bild 6) vom Lehrer vorgegeben. Die Gruppen lösen je einen der im LB, S. 40, formulierten Teilaufträge.

Jede Schülergruppe führt mindestens zwei Messungen durch. Mit dem Taschenrechner werden die Quotienten  $N_1/N_2$  und  $U_1/U_2$  berechnet. In der Auswertung übernehmen die Schülergruppen einige Meßwerte anderer Gruppen. Aus dem Vergleich der berechneten Quotienten wird die Gleichung formuliert.

Bei der Diskussion von Meßabweichungen wird der Begriff „Idealer Transformator“ als gedachter, verlustfrei arbeitender Transformator eingeführt.

Gruppe	$N_1$	$N_2$	Buchsen- kombination	$U_1$ in V	$U_2$ in V	$\frac{N_1}{N_2}$	$\frac{U_1}{U_2}$
1	1000	500	0 - 12				
	1000	500	0 - 10 3				
	1000	500	2 - 8				
2	1000	500	2 - 12				
	750	500	2 - 12				
	250	500	2 - 12				
3	500	1000	2 - 8				
	500	750	2 - 8				
	500	250	2 - 8				

Bild 6  
Zum  
Schülerexperiment  
Spannungsübersetzung  
am Transformator  
(Folie)

Als HA erhalten die Gruppen den Auftrag, eine Aussage über die Abhängigkeit der Sekundärspannung entsprechend dem bearbeiteten Teilauftrag (LB, S. 40) zu formulieren. Leistungsstarke Schüler sollen nachweisen, daß diese Teilaussagen in der Gleichung  $N_1/N_2 = U_1/U_2$  enthalten sind.

**Abhängigkeit der Sekundärspannung von der Belastung.** Der Lehrer erinnert an die in der Einführung genannte Verwendung des Transformators zum Wandeln von Strömen. Im DE (LB, S. 42) wird gezeigt, daß eine Änderung der Sekundärstromstärke verbunden ist mit einer Änderung der Sekundärspannung. Bei der Diskussion der Ergebnisse des DE werden die Kenntnisse der Schüler aus Klasse 8 über Leerlauf- und Klemmenspannung wiederholt. Es ist zu betonen, daß eine hohe Belastung einer hohen Sekundärstromstärke entspricht.

**Abhängigkeit der Primärstromstärke von der Belastung.** Im DE wird gezeigt, daß eine Erhöhung der Belastung beim Transformator auch eine Erhöhung der Primärstromstärke bewirkt.

**Stromstärkeübersetzung am Transformator.** In einem DE (PSV 9, V 2.2.5., Versuch 2) werden Primär- und Sekundärstromstärken am stark belasteten Transformator für verschiedene Windungsanzahlen gemessen. Die Meßwerttabelle sollte vorgegeben werden. Das Ergebnis wird im UG formuliert. Dabei wird betont, daß die Gleichung  $I_1/I_2 = N_2/N_1$  nur für den stark belasteten idealen Transformator gilt. Deshalb wurde für die Messungen der Sekundärkreis durch den Strommesser „kurzgeschlossen“.

Zur Vorbereitung auf die Behandlung der Energieumwandlung am realen Transformator erhalten die Schüler die Aufgabe, die Kenntnisse über den Wirkungsgrad von Anlagen für Energieumwandlungen (z. B. PhÜb) zu wiederholen.

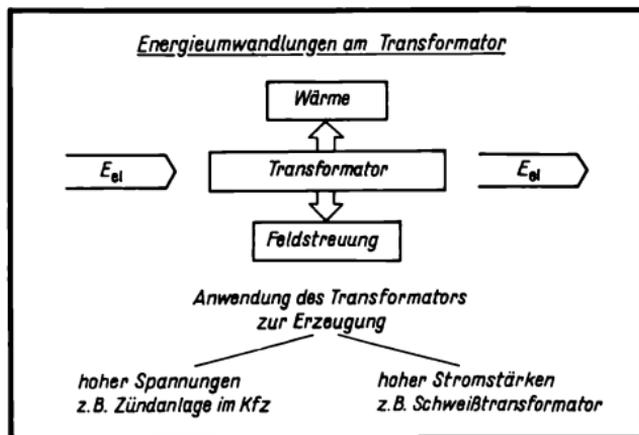


Bild 7  
Tafelbild  
zum Transformator

**Energieumwandlung am realen Transformator.** Auf der Grundlage der HA (Wirkungsgrad von Anlagen für Energieumwandlung) und dem Durcharbeiten des entsprechenden Lehrbuchabschnittes, S. 44, können die Schüler Energieumwandlungen, insbesondere unerwünschte, am Transformator nennen (Bild 7, Tafelbild). Auf Wirbelströme wird dabei noch nicht verwiesen.

**Anwendung des Transformators.** Die Interpretation der Gleichungen zur Spannungsübersetzung und zur Stromstärkeübersetzung orientiert auf zwei Anwendungen. Die Schüler sollen erkennen, daß je nach Windungszahlverhältnis hohe Spannungen oder hohe Stromstärken zur Verfügung gestellt werden können.

**Zündanlage:** Im LV wird folgendes Problem gestellt:

Wie kann man hohe Spannungen zum Zünden des Kraftstoff-Luft-Gemisches bei einer Batteriespannung von 6 V oder 12 V erzeugen? Das Problem knüpft an das Interesse vieler Schüler dieser Altersgruppe an (Mopedzündung). Die Schüler sollen zunächst selbständig Lösungsmöglichkeiten nennen. Neben der Lösungsidee, die das Transformatorprinzip in Verbindung mit einem Unterbrecher zugrundelegt, werden erfahrungsgemäß noch folgende Lösungsideen von den Schülern genannt: a) Die *Zündspule* wird als einfache *Spule* angesehen, b) Die Zündspule wird als Transformator mit geeigneten Windungszahlen aufgefaßt, aber die Notwendigkeit eines Unterbrechers wird nicht erkannt.

Alle 3 Lösungsideen sind experimentell zu überprüfen. Dabei empfiehlt es sich, durch Überprüfen der Lösungsideen a und b die Schüler schrittweise an die in der Praxis genutzte Lösungsidee heranzuführen.

Zur modellmäßigen Darstellung der Zündanlage kann das Experiment nach PSV 9 V 2.2.14. oder ein Aufbautransformator aus zwei U-Kernen und einer Primärspule 125 Wdg. verwendet werden. Als Sekundärspule werden eine Spule (750 Wdg.) und zwei Spulen (1500 Wdg.) in Reihe geschaltet. Der Unterbrecher kann mittels Exzenter am Experimentiermotor und dem Umschalter aus dem Aufbausatz Elektrizitätslehre zusammengesetzt werden.

**Schweißtransformator:** Als weitere Anwendung wird die Wirkungsweise des Schweißtransformators nach PSV 9 V 2.2.11. demonstriert.

## Ziele

Die Schüler

- wissen, daß Wirbelströme in massiven Metallkörpern entstehen, die sich in einem veränderlichen Magnetfeld befinden oder in einem Magnetfeld bewegt werden;
- können Beispiele für die Nutzung von Wirbelströmen und für deren unerwünschtes Auftreten erläutern.

Die Schüler festigen die Überzeugung, daß der Mensch physikalische Gesetze bei der Konstruktion von technischen Geräten anwendet.

## Unterrichtsmittel

Aufbausatz Elektrizitätslehre

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Problemstellung.** Durch ein Demonstrationsexperiment nach LB, S. 46, sollen die Schüler zur Problemformulierung angeregt werden. Eine mögliche Problemformulierung ist z. B.: Warum erwärmt sich der Volleisenkern in einem Transformator stärker als ein geblätterter Kern?

**Lösungsideen.** Die Schüler können weitgehend selbständig Induktionsströme als mögliche Ursache der Erwärmung des Volleisenkernes angeben. Als Denkanstöße können eingesetzt werden: Hinweise auf das veränderliche Magnetfeld im Transformator Kern.

Der Lehrer erläutert den möglichen Verlauf dieser Induktionsströme (LB, Bild 46/2) und gibt die Bezeichnung Wirbelströme.

Die Wirbelströme werden als mögliche Ursache der Erwärmung des Volleisenkerns herausgestellt. Der Lehrer verdeutlicht, daß die Lösungsidee noch zu bestätigen ist.

**Überprüfung der Lösungsidee.** Im Mittelpunkt steht das Ableiten von experimentell überprüfaren Folgerungen, z. B.

- Zur Induktion der Wirbelströme muß dem Primärkreis zusätzlich Energie zugeführt werden, die Primärstromstärke muß größer sein als beim geblätterten Kern.
- Wirbelströme müßten auch bei der Bewegung massiver Leiter in Magnetfeldern auftreten.

Nach Überprüfung der Folgerung a) wird das unterschiedliche Leuchten der Glühlampe über die Erörterung des Wirkungsgrades des Transformators erklärt.

Auf die industrielle Nutzung der Induktionserwärmung ist hinzuweisen. Die Wirkung der Blätterung der Kerne wird erörtert. Folgerung b) wird durch ein Demonstrationsexperiment mit dem Waltenhoffschen Pendel bestätigt.

Die Bremswirkung wird unter Anwendung des Lenzschen Gesetzes erklärt.

Das Verhalten einer geschlitzten Pendelscheibe kann von den Schülern selbständig vorausgesagt und im Experiment überprüft werden.

**Ziele**

Die Schüler

- können das Induktionsgesetz und das Lenzsche Gesetz auf den Ein- und Ausschaltvorgang einer Spule im Gleichstromkreis anwenden und die auftretenden Erscheinungen erklären;
- können das  $I$ - $t$ -Diagramm interpretieren.

Die Schüler erleben, wie man bei der Erkenntnisgewinnung von der Erscheinung zum Wesen vordringt.

**Unterrichtsmittel**

Aufbausatz Elektrizitätslehre  
Universalgenerator  
Katodenstrahloszillograph

**Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**Selbstinduktion beim Einschalten einer Spule.** Zum Auslösen eines Erklärungs-Problems wird das Experiment LB, S. 48, demonstriert.

Die Schüler beschreiben das Experiment und formulieren das Problem. Sie versuchen, Erklärungsmöglichkeiten zu geben. Häufig wird als Lösungsidee angegeben, daß die Elektronen durch die Spule einen „längeren Weg“ zurücklegen müssen und deshalb die Lampe später aufleuchtet. Deshalb wird das DE mit der gleichen Spule ohne Eisenkern wiederholt.

Als heuristische Führungsmaßnahme zum Finden der geeigneten Lösungsidee wird ein „eisenloser Transformator“ aus zwei Spulen gezeigt, die unterschiedlichen Querschnitt haben und ineinander gesteckt sind. In der Spule mit kleinerem Querschnitt wird eine Spannung induziert, wenn an die äußere Spule eine Spannung angelegt wird. Die Schüler erklären diese Erscheinung. Was verändert sich, wenn die innere Spule entfernt ist? Diese Frage kann ergänzt werden durch den Hinweis auf die Änderung des die äußere Spule umfassenden Magnetfeldes beim Einschalten. Mit dieser Erkenntnis kann eine Lösungsidee aufgestellt werden. Es ist auch möglich, die Problemlösung über eine selbständige Arbeit mit dem Lehrbuch zu erarbeiten.

**Selbstinduktion beim Ausschalten einer Spule.** Die Wirkung der Selbstinduktion beim Ausschalten wird demonstriert (PSV 9 V 2.3.2.). Die Schüler erklären das Aufleuchten der Glühlampe unter Anwendung des Induktionsgesetzes und des Lenzschen Gesetzes.

**$I$ - $t$ -Diagramm.** Zur Festigung der Erkenntnis über die Selbstinduktion wird in einem Demonstrationsexperiment das  $I$ - $t$ -Diagramm eines Stromkreises mit Spule auf dem Oszillographen realisiert.

Die Veränderung der Oszillographenbildes beim Herausnehmen des Eisenkerns wird beobachtet und gedeutet. Abschließend wird die technische Bedeutung für die Nutzung der Selbstinduktion zum Zünden von Leuchtstofflampen erläutert.

Für die Festigung in dieser Stoffeinheit wird eine Systematisierung vorgeschlagen. Bei der Erarbeitung der Systematisierungsgesichtspunkte (Tabellenkopf und 1. Spalte) können die Zusammenfassungen im LB, S. 33 und S. 45, herangezogen werden. Es empfiehlt sich eine Übersicht (Tafelbild oder Folie), in welcher die Systematisierungsgesichtspunkte vorgegeben sind. Mit den Schülern werden den einzelnen Fällen die Experimentieranordnung und die technischen Anwendungen zugeordnet.

Beispiel einer Übersicht zur elektromagnetischen Induktion

Bedingung	Änderung des von der Spule umfaßten Magnetfeldes durch	
	Änderung des räumlichen Anteils	Änderung der Stärke des Magnetfeldes der felderzeugenden Anordnung
Experimentieranordnung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rotieren einer Spule im Magnetfeld</li> <li>- Relativbewegung von Spule und Magnetfeld</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ein- und Ausschalten des Feldes eines Elektromagneten</li> <li>- stetige Änderung der Erregerstromstärke</li> <li>- Anschließen der felderzeugenden Spule an eine Wechselstromquelle</li> <li>- Selbstinduktion beim Ein- und Ausschalten eines Gleichstromes</li> </ul>
Technische Anwendungen	Generator Tonkopf	Zündspule Transformator

## Stoffeinheit Elektrische Leitungsvorgänge

22 Stunden

### Ziele und inhaltliche Schwerpunkte

Ausgehend von dem im bisherigen Unterricht der Fächer Physik und Chemie vermittelten Wissen besteht ein wesentliches Ziel der Stoffeinheit darin, das *Wissen der Schüler* über grundlegende Gesetze des Gleichstromkreises, über Leitungsvorgänge in verschiedenen Medien sowie über deren Anwendungen systematisch weiterzuentwickeln. Damit lernen die Schüler ausgewählte physikalische Grundlagen für das Verständnis der modernen Technik kennen. Sie erfahren, wie mit Hilfe von Modellen Sachverhalte erklärt und vorausgesagt werden können und wie sich mit wenigen grundlegenden Erkenntnissen die vielfältigen elektrischen Leitungsvorgänge beschreiben, erklären und systematisieren lassen. Eng damit zu verbinden ist die *weltanschauliche Bildung und Erziehung*. Insbesondere sind die Potenzen des Stoffes für die Vertiefung der Einsichten in die Zusammenhänge zwischen der Entwicklung von Gesellschaft, Physik, Technik und Produktion sowie für die Erörterung und

Wertung der ökonomischen und sozialen Auswirkungen der immer umfassenderen Anwendung der Elektronik in verschiedenen Gesellschaftssystemen zu nutzen. Anhand von Beispielen ist die Überzeugung zu vertiefen, daß im Sozialismus wissenschaftliche Erkenntnisse ausschließlich zum Wohle des Volkes und zur Sicherung des Friedens genutzt werden. Die Schüler sollen durch Einblicke in die historische und aktuelle Entwicklung auf dem Gebiet der Elektronik die hohe Dynamik des Voranschreitens auf diesem Gebiet erfassen und Stolz auf das in der DDR Erreichte empfinden. Zugleich sollen sie auch auf Ansprüche und Herausforderungen aufmerksam gemacht werden, die durch die wissenschaftlich-technische Revolution an die junge Generation gestellt werden. Dabei sind aktuelle Materialien in den Unterricht einzubeziehen.

In der Stoffeinheit bestehen vielfältige Möglichkeiten für *die Vervollkommnung des Könnens der Schüler* und für *Beiträge zur systematischen Ausprägung ihrer Fähigkeiten*. Im Mittelpunkt stehen die weitere Erhöhung der Selbständigkeit der Schüler beim Vorbereiten, Durchführen und Auswerten von Experimenten, beim Anwenden der grundlegenden Gesetze des Gleichstromkreises zum Lösen von Aufgaben sowie beim Aneignen neuen Wissens mit Hilfe von Literatur, insbesondere mit Hilfe des Lehrbuches. Anknüpfend an den vorhergehenden Unterricht erfolgt die weitere Befähigung der Schüler zum zusammenhängenden mündlichen und schriftlichen Darstellen, zum Beschreiben und Erklären von Sachverhalten sowie zum Anwenden von Modellen. Ein Beitrag zur Befähigung der Schüler zum Anwenden elementarer wissenschaftlicher Denk- und Arbeitsweisen wird auch dadurch geleistet, daß die Schüler eine Orientierungsgrundlage für das Interpretieren von Diagrammen erhalten und daß diese Tätigkeit an verschiedenen Beispielen geübt wird.

Die Stoffeinheit ist in folgende vier Stoffabschnitte gegliedert:

- Gesetze in elektrischen Stromkreisen;
- Elektrische Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten;
- Elektrische Leitungsvorgänge in Gasen und im Vakuum;
- Elektrische Leitungsvorgänge in Halbleitern.

Im ersten Stoffabschnitt erfolgt eine gründliche Wiederholung und partielle Vertiefung der Gesetze in elektrischen Stromkreisen, die in Klasse 8 behandelt wurden. Das höhere Niveau in Klasse 9 besteht in der quantitativen Erfassung des Gesamtwiderstandes zweier Bauelemente in Reihen- und Parallelschaltung, in der quantitativen Formulierung der Spannungsverteilung an zwei in Reihe geschalteten Bauelementen sowie in der vielfältigen Anwendung der behandelten Gesetze zur Lösung praxisverbundener Aufgaben. In Vertiefung der in den Klassen 7 und 8 durchgeführten Fehlerbetrachtungen erfolgt am Beispiel der Bestimmung des elektrischen Widerstandes eines Bauelements die Diskussion des Einflusses der Fehler bei der Messung mit elektrischen Meßgeräten auf ein zu berechnendes Ergebnis. Die Schüler erhalten damit wichtige Orientierungen für die bewußte Verbesserung der Qualität ihrer experimentellen Arbeit.

Im Zentrum des zweiten Stoffabschnitts stehen Gemeinsamkeiten der elektrischen Leitungsvorgänge in verschiedenen Medien. Ausgangspunkt der Behandlung ist das Wissen der Schüler aus dem Physikunterricht (Kl. 8) über Leitungsvorgänge in Metallen und aus dem Chemieunterricht (Kl. 8) über die elektrische Leitfähigkeit von Säure-, Base- und Salzlösungen. Aufbauend auf diesem Wissen erfolgt eine zusammenführende und vertiefende Betrachtung zu Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge. Dabei steht das Arbeiten mit einfachen Modellen im Vordergrund. Das Aussagensystem zu Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge bildet die Grundlage für die Behandlung der elektrischen Leitungsvorgänge in Gasen, im Vakuum und in Halbleitern.

Elektrische Leitungsvorgänge in Gasen und im Vakuum werden im dritten Stoffabschnitt in engem Zusammenhang betrachtet. Dabei erfolgt zunächst eine Konzentration auf Möglichkeiten des Bereitstellens von Ladungsträgern durch Ionisation und Emission.

Bei Leitungsvorgängen in Gasen steht als Anwendung die Nutzung in Lichtquellen im Vordergrund. Anhand der Fortschritte in der Beleuchtungstechnik kann das Streben nach immer

effektiveren Lösungen und nach rationeller Nutzung der Energie gut verdeutlicht werden. Bei den Leitungsvorgängen im Vakuum stehen Aufbau, Wirkungsweise und Anwendungen von Elektronenstrahlröhren im Mittelpunkt. An diesem Beispiel lernen die Schüler auch die Möglichkeit einer Steuerung mit Hilfe eines elektrischen Feldes kennen. Dabei ist zu beachten, daß die Steuerung ein grundlegendes Wirkprinzip der Elektronik ist und deshalb bei der Behandlung der Leitungsvorgänge eine günstige Möglichkeit besteht, die Schüler an dieses Prinzip heranzuführen. Weitere Möglichkeiten der Steuerung werden beim Heißleiter, beim Fotowiderstand und beim Transistor betrachtet. Dabei soll den Schülern die Steuerung als grundlegendes Wirkprinzip der Elektronik bewußt werden.

Aufgrund ihrer praktischen Bedeutung nehmen die elektrischen Leitungsvorgänge in Halbleitern im Unterricht den größten Raum ein. Im Physikunterricht der Klasse 9 geht es dabei um die Vermittlung von einigen physikalischen Grundlagen und elementaren technischen Anwendungen. Es ist zu beachten, daß im Stoffgebiet Elektrotechnik des ESP-Unterrichts der Klassen 9 und 10 auf diesen Grundlagen aufgebaut wird und dort Fragen der Anwendung der Halbleitertechnik vor allem in der Informationselektrik im Mittelpunkt stehen. Inhaltliche Schwerpunkte sind die Beeinflussung elektrischer Leitungsvorgänge in Halbleitern durch Wärme und Licht sowie der Aufbau, die Wirkungsweise und die Anwendung von Halbleiterdioden und Transistoren.

Der Einfluß von Wärme und Licht auf den elektrischen Leitungsvorgang wird als Beispiel für die verschiedenartige und starke Beeinflussbarkeit elektrischer Leitungsvorgänge in Halbleitern behandelt. Zugleich lernen die Schüler damit Bauelemente aus homogenen Halbleitern (Heißleiter, Fotowiderstand) und Beispiele für deren Anwendung kennen. Der Verlauf des Leitungsvorganges bleibt dabei zunächst im Hintergrund. Er wird anschließend bei der Behandlung der n- und p-Leitung in den Mittelpunkt der Betrachtungen gerückt. Das Wesen elektrischer Leitungsvorgänge in Halbleitern wird den Schülern mit einer atomistischen Betrachtungsweise und der Verwendung einfacher Teilchenmodelle verdeutlicht. Die obere Grenze des Anforderungsniveaus bei der Anwendung dieser Betrachtungsweise wird bei der Behandlung des p-n-Übergangs und der Wirkungsweise der Diode erreicht. Beim Transistor tritt wieder stärker die phänomenologische Betrachtungsweise in den Vordergrund; auf eine Erklärung der Wirkungsweise im Teilchenmodell wird verzichtet. Der zusammenfassende Abschnitt zur Anwendung elektronischer Bauelemente in Wissenschaft, Technik, Produktion und im täglichen Leben ist als Überblick für die Schüler gedacht. Aufgrund des nun vorhandenen Wissens ist er zugleich ein Konzentrationspunkt für die weitere Ausprägung der politisch-weltanschaulichen Einsichten, Überzeugungen und Haltungen, die einleitend bei den Zielen für diese Stoffeinheit genannt sind.

Insgesamt sollen die Schüler das folgende grundlegende *Wissen und Können* erwerben, das auch vorrangiger Gegenstand von Leistungskontrollen sein soll:

- Kenntnis und Anwenden der Gesetze für Spannung, Stromstärke und elektrischen Widerstand in verzweigten und unverzweigten Stromkreisen;
- Erläutern der Voraussetzungen und des Verlaufs elektrischer Leitungsvorgänge in verschiedenen Stoffen und im Vakuum mit Hilfe einfacher Teilchenmodelle;
- Beschreiben des Aufbaus und Erklären der Wirkungsweise von Elektronenstrahlröhre, Halbleiterdiode und npn-Transistoren;
- Zeichnen und Interpretieren von Diagrammen (metallischer Leiter, Heißleiter, Transistor), dabei Anwenden der im Lehrbuch angegebenen Schrittfolge für das Interpretieren von Diagrammen;
- Erläutern der Steuerung des elektrischen Stromes in Bauelementen (Elektronenstrahlröhre, Heißleiter, Fotowiderstand, Transistor);
- Nennen und Erläutern von Anwendungsbeispielen der elektrischen Leitungsvorgänge in Gasen, im Vakuum und in Halbleitern;
- Werten der ökonomischen und sozialen Auswirkungen der immer umfassenderen Nutzung der Elektronik in sozialistischen und imperialistischen Ländern.

Für die Kontrolle des Wissens und Könnens der Schüler empfiehlt sich eine einstündige *Kontrollarbeit*. Nachfolgend sind dafür mögliche Aufgaben angegeben.

Um eine hinreichende Breite der Kontrolle zu gewährleisten, sollte der Lehrer Aufgaben aus verschiedenen Gruppen auswählen. Dabei ist zu beachten, daß die Aufgaben einer Gruppe teilweise ein unterschiedliches Anforderungsniveau aufweisen.

### I Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge

1. a) Nennen Sie die Voraussetzungen und kennzeichnen Sie den Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge!  
b) Erklären Sie mit Hilfe dieser Aussagen den elektrischen Leitungsvorgang in Metallen!
2. a) Nennen Sie die Voraussetzungen und kennzeichnen Sie den Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge!  
b) Erklären Sie mit Hilfe dieser Aussagen den elektrischen Leitungsvorgang in Gasen (oder im Vakuum oder in n-leitendem Halbleitermaterial)!

### II Gesetze im Gleichstromkreis

1. An einer Reihenschaltung von zwei Widerständen (Bild 8a) liegt die Spannung 20 V, die Stromstärke beträgt 0,5 A.  
Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Schaltung?  
Zusatzaufgabe: Nennen Sie zwei elektrische Widerstände, die in Reihenschaltung den berechneten Gesamtwiderstand ergeben!
2. An einer Parallelschaltung von zwei Widerständen (Bild 8b) liegt die Spannung 30 V, die Stromstärke beträgt 1,5 A.  
Wie groß ist der Gesamtwiderstand der Schaltung?  
Zusatzaufgabe: Nennen Sie zwei elektrische Widerstände, die in Parallelschaltung den berechneten Gesamtwiderstand ergeben!

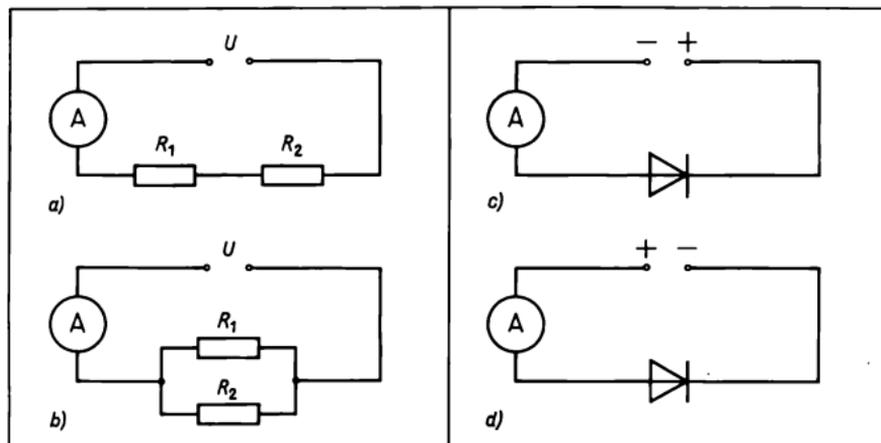


Bild 8 Schaltpläne zur Kontrollarbeit

### III Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes

1. Wie verändert sich der elektrische Widerstand eines metallischen Leiters bei Erhöhung der Temperatur?  
Begründen Sie Ihre Aussage!

2. Wie verändert sich der elektrische Widerstand eines Halbleiters bei Erhöhung der Temperatur?

Begründen Sie Ihre Aussage!

#### IV Aufbau von Bauelementen

- Beschreiben Sie den Aufbau einer Halbleiterdiode!  
Fertigen Sie dazu eine Skizze an!
- Beschreiben Sie den Aufbau eines Transistors!  
Fertigen Sie dazu eine Skizze an!

#### V Halbleiterdiode

- Erläutern Sie, weshalb bei der angegebenen Polung einer Diode (Bild 8c) kein Strom fließt?
- Erläutern Sie, weshalb bei der angegebenen Polung einer Diode (Bild 8d) ein Strom fließt!

#### VI Anwendungen

- Nennen Sie je ein technisch bedeutsames Beispiel für die Anwendung von elektrischen Leitungsvorgängen in
  - Metallen
  - Flüssigkeiten
  - Gasen
  - Vakuum
  - Halbleitern!
- Nennen und erläutern Sie ein technisch bedeutsames Beispiel für die Anwendung von elektrischen Leitungsvorgängen in Halbleitern!

#### VII Kennlinien

- Skizzieren Sie eine Experimentieranordnung, mit deren Hilfe das  $I-U$ -Diagramm eines metallischen Leiters aufgenommen werden kann!
  - Zeichnen Sie das  $I-U$ -Diagramm für einen metallischen Leiter (für  $T = \text{konst.}$ )
  - Interpretieren Sie das gezeichnete  $I-U$ -Diagramm
- Skizzieren Sie eine Experimentieranordnung, mit deren Hilfe das  $I-\vartheta$ -Diagramm eines Heißleiters aufgenommen werden kann!
  - Zeichnen Sie das  $I-\vartheta$ -Diagramm für einen Heißleiter!
  - Interpretieren Sie das gezeichnete  $I-\vartheta$ -Diagramm!

### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reakti- vierendes Wissen	Experimente, besondere Unter- richtsmittel, Schüleraufträge
Stoffabschnitt Gesetze in elektrischen Stromkreisen (5 Stunden)		
Variante A		

<p>Gesetze für Spannung, Stromstärke und elektrischen Widerstand</p> <p style="text-align: right;">4 Std.</p>	<p>Gesetze für Spannung und Stromstärke im unverzweigten Stromkreis (Ph 8)</p> <p>Ohmsches Gesetz und Widerstandsgesetz</p> <p>Technische Widerstände (Ph 8)</p> <p>Schaltung eines verstellbaren Vorwiderstandes zur Erzeugung einer veränderlichen Teilspannung (Ph 8)</p>	<p>DE: Spannung und Stromstärke in Stromkreisen</p> <p>DE: Zusammenhänge zwischen <math>U</math>, <math>I</math> und <math>R</math></p> <p>DE: Bestätigung der Gesetze für den Gesamtwiderstand zweier Widerstände in Reihen- und in Parallelschaltung</p> <p>SE: Untersuchung der Spannungsverteilung an zwei in Reihe geschalteten Bauelementen</p>
<p>Meßfehler und deren Einfluß auf das Ergebnis</p> <p style="text-align: right;">1 Std.</p>	<p>Fehlerarten bei Messungen (Ph 7, 8)</p> <p>Regeln für das Rechnen mit Näherungswerten (Ma 6)</p>	<p>DE: Elektrischer Widerstand eines Bauelementes unter Berücksichtigung von Meßfehlern</p>
<p>Variante B</p>		
<p>Gesetze für Spannung, Stromstärke und elektrischen Widerstand</p> <p style="text-align: right;">2 Std.</p>	<p>siehe Variante A</p>	<p>DE: Spannung und Stromstärke in Stromkreisen</p> <p>DE: Zusammenhänge zwischen <math>U</math>, <math>I</math> und <math>R</math></p> <p>SE: Spannungsverteilung an zwei in Reihe geschalteten Bauelementen</p>
<p>Meßfehler und deren Einfluß auf das Ergebnis</p> <p style="text-align: right;">1 Std.</p>	<p>siehe Variante A</p>	<p>siehe Variante A</p>
<p>Festigung und Kontrolle</p> <p style="text-align: right;">2 Std.</p>		<p>DE: Bestätigen vorausberechneter Werte für den Gesamtwiderstand zweier Widerstände in Reihen- und in Parallelschaltung</p>
<p>Stoffabschnitt Elektrische Leitungsvorgänge in Metallen und leitenden Flüssigkeiten (2 Stunden)</p>		
<p>Voraussetzungen für elektrische Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten</p> <p style="text-align: right;">1 Std.</p>	<p>Aufbau von Metallkristallen (Ch 8)</p> <p>Modell der Elektronenleitung des elektrischen Stromes (Ph 8)</p> <p>Elektrische Leitfähigkeit der wäßrigen Lösungen von Basen, Säuren und Salzen (Ch 8)</p> <p>Dissoziation (Ch 8)</p> <p>Elektrisches Feld (Ph 9)</p>	<p>DE: Nachweis von elektrischem Strom</p> <p>DE: Elektrische Leitfähigkeit von Flüssigkeiten</p>
<p>Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten</p> <p style="text-align: right;">1 Std.</p>	<p>Modell der Elektronenleitung des elektrischen Stromes (Ph 8)</p> <p>Kraft auf geladene Körper im elektrischen Feld (Ph 9)</p>	<p>DE: Modelleexperimente mit Hilfe des Luftkissentisches</p>

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktiveres Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<b>Stoffabschnitt Elektrische Leitungsvorgänge in Gasen und im Vakuum (5 Stunden)</b>		
Bereitstellung wanderungsfähiger Ladungsträger in Gasen und im Vakuum 1 Std.		DE: Entladung von Kondensatorplatten durch Ionisation von Luft DE: Nachweis der Glühemission DE: Nachweis der Fotoemission DE: Modellexperiment zur Glühemission mit Hilfe des Luftkissenstisches
Elektrische Leitungsvorgänge in Gasen und deren Anwendung 1 Std.	Wirkungsgrad (Ph 7)	DE: Wirkungsweise einer Glimmlampe DE: Leitung in Gasen bei verschiedenem Druck DE: Elektrischer Lichtbogen K-F „Leitungsvorgänge in Gasen“ Fernsehsendung „Anwendung elektrischer Leitungsvorgänge in Gasen“
Elektrische Leitungsvorgänge im Vakuum und deren Anwendung 2 Std.	Kräfte auf elektrisch geladene Teilchen im elektrischen Feld (Ph 9) Kräfte auf bewegte elektrisch geladene Teilchen im magnetischen Feld (Ph 9)	DE: Wirkungsweise einer Elektronenstrahlröhre DE: Wirkungsweise eines Oszillographen
Festigung und Kontrolle 1 Std.		
<b>Stoffabschnitt Elektrische Leitungsvorgänge in Halbleitern (10 Stunden)</b>		
Aufbau von Halbleitern und Beeinflussung ihres elektrischen Widerstandes durch Zufuhr von Wärme und durch Bestrahlung mit Licht 3 Std.	Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von metallischen Leitern (Ph 8)	SE: Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes eines Heißeleiters von der Temperatur DE: Abhängigkeit der Stromstärke durch einen Heißeleiter von der Temperatur DE: Einfluß von Licht auf den elektrischen Leitungsvorgang in einem Fotowiderstand DE: Wirkungsweise einer Lichtschranke Folie „Halbleiter I“ Vergabe von Schülervorträgen (LB, S. 87, Aufg. 5 und 6)
n-Leitung und p-Leitung in Halbleitern 1 Std.	Leitung in Metallen (Ph 8, 9)	Modelldemonstration zur n- und p-Leitung (Applikationen) DE: Modellexperimente zur n- und p-Leitung mit dem Luftkissenstisch Folie „Halbleiter II“ K-F „Störstellenleitung in Halbleitern“

Die Halbleiterdiode 2 Std.	Kräfte auf Ladungsträger im elektrischen Feld (Ph 8,9) n- und p-Leitung	SE: Durchlaß- und Sperrichtung bei einer Halbleiterdiode DE: Gleichrichterwirkung einer Halbleiterdiode Halbleiterdioden verschiedener Bauformen Folie „Halbleiter III“
Der Transistor 2 Std.		SE: Basisstromstärke $I_B$ und Kollektorstromstärke $I_C$ eines Transistors DE: $I_C$ - $I_B$ -Kennlinie eines Transistors DE: Transistor als Verstärker DE: Transistor als Schalter Folie „Halbleiter IV“
Festigung und Kontrolle 2 Std.		Fernsehsendung „Halbleiterbauelemente und ihre Anwendung“ K-F „Systematisierung der elektrischen Leitungsvorgänge“ Anschauungsmaterial zur Anwendung elektronischer Bauelemente

### *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*

#### *Gesetze für Spannung, Stromstärke und elektrischen Widerstand (Variante A)*

4 Stunden

In den ersten Stunden der Stoffeinheit geht es vorrangig um eine gründliche Reaktivierung der in Klasse 8 behandelten Gesetze des Gleichstromkreises. Neu eingeführt werden die Gesetze für den Gesamtwiderstand zweier Widerstände in Reihen- und Parallelschaltung sowie die Gleichung für die Spannungsverteilung an zwei in Reihe geschalteten Bauelementen. Die Kenntnis aller dieser Gesetze ermöglicht die Lösung vielfältiger praxisverbundener Aufgaben. Die Befähigung der Schüler zur schöpferischen Anwendung der behandelten Gesetze ist ein wesentlicher Schwerpunkt des ersten Stoffabschnitts. Für diesen ersten Stoffabschnitt bieten sich zwei methodische Varianten an. Variante A ist nachfolgend ausführlich dargestellt. Variante B weist gegenüber der Variante A folgende wesentlichen Unterschiede auf:

- Die Gesetze des Gleichstromkreises werden in konzentrierter Form wiederholt. Die Festigung durch Lösen von Aufgaben bleibt dabei zunächst im Hintergrund.
- Die Festigung der behandelten Gesetze durch Anwendung beim Lösen von Aufgaben erfolgt in den zwei abschließenden Unterrichtsstunden des Stoffabschnitts. Dabei sollte von einfachen Aufgaben zu den einzelnen Gesetzen ausgegangen werden. Daran anschließend werden die Schüler zur Lösung komplexerer Aufgaben unter Anwendung mehrerer Gesetze befähigt.

## Ziele

Die Schüler

- kennen die Gesetze für Spannung, Stromstärke und elektrischen Widerstand im unverzweigten und im verzweigten Stromkreis;
- untersuchen experimentell die Spannungsverteilung an zwei in Reihe geschalteten Bauelementen;
- kennen das Ohmsche Gesetz, das Widerstandsgesetz und das Gesetz für die Spannungsverteilung an zwei in Reihe geschalteten Bauelementen;
- können die Gesetze des Gleichstromkreises interpretieren und zum Lösen von Aufgaben anwenden.

## Unterrichtsmittel

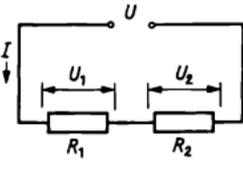
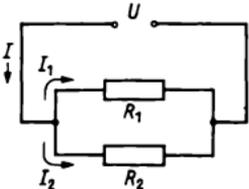
Tafelschaltgerät

Strommesser

Spannungsmesser

Fo: Gesetze in elektrischen Stromkreisen (S) (Bild 9)

Gesetze in elektrischen Stromkreisen

Unverzweigter Stromkreis	Verzweigter Stromkreis
	
$I = I_1 = I_2$	$I = I_1 + I_2$
$U = U_1 + U_2$	$U = U_1 = U_2$
$R = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Für einzelne Widerstände gilt unabhängig von der Art der Schaltung:

$$I = \frac{U}{R}$$
$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \text{ (bei } T = \text{konst.)}$$

Bild 9  
Gesetze für Spannung,  
Stromstärke, Widerstand  
(Folie)

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung in die Stoffeinheit.** Als Grundlage für die Gestaltung kann der Einführungsabschnitt zum LB genutzt werden. Durch Verdeutlichen der Rolle der Elektronik für die weitere Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts sowie durch Verweis

auf den Schülern bekannte Geräte der Heimelektronik soll bei ihnen Interesse geweckt und die Bedeutung dieses Teilgebietes der Physik für die Entwicklung von Wissenschaft, Technik und Produktion verdeutlicht werden.

Möglich ist auch ein historischer Einstieg, bei dem an Beispielen die dialektischen Zusammenhänge zwischen der Entwicklung der Gesellschaft, der Physik, der Technik und der Produktion herausgearbeitet werden. Damit werden zugleich wichtige weltanschauliche Fragen angesprochen, die im weiteren Unterricht wieder aufgegriffen und vertiefend betrachtet werden.

Durch Zeigen verschiedener Geräte und Bauelemente (Lichtquellen verschiedener Art, Oszillograph, Transistoren, integrierte Schaltkreise) wird den Schülern eine konkrete Orientierung auf Schwerpunkte des Unterrichtsstoffes gegeben. Dabei sollten die Schüler darauf aufmerksam gemacht werden, daß es im Physikunterricht vorrangig um ausgewählte physikalische Grundlagen für das Verständnis der modernen Technik geht, während im ESP-Unterricht der Klassen 9 und 10 technische Realisierungen im Vordergrund stehen.

**Gesetze für Spannung und Stromstärke im unverzweigten und im verzweigten Stromkreis.** Ausgehend von praktischen Beispielen (z. B. Schaltungen von Sicherungen, Parallelschaltungen in Gebäuden, Erzeugung von Teilspannungen, Auswahl von Leiterquerschnitten) wird die Notwendigkeit der gründlichen Wiederholung von Gesetzen des Gleichstromkreises motiviert. Im Mittelpunkt der Wiederholung steht der physikalische Inhalt der im Physikunterricht der Klasse 8 behandelten Gesetze und deren Anwendung zum Lösen einfacher Aufgaben. Ein experimentelles Verdeutlichen der Gesetze bzw. ein Überprüfen vorausberechneter Werte im Experiment ist zu empfehlen. Damit wird ein Beitrag für die Vertiefung der Einsicht in die prognostische Funktion von Gesetzen geleistet.

**Ohmsches Gesetz und Widerstandsgesetz.** Bei der Wiederholung sind die in den Gleichungen  $U = I \cdot R$  und  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$  enthaltenen Zusammenhänge sowie das Lösen von Aufgaben in den Vordergrund zu stellen (LB, S. 53, Aufg. 1 bis 4, LB, S. 89, Aufg. 1 bis 3). Bei der Interpretation der Gleichungen sollte sich der Lehrer in seiner Unterrichtsführung bereits an den Schritten orientieren, die im Abschnitt „Bewegungen mit konstantem Betrag der Geschwindigkeit“ des LB für die Interpretation einer Gleichung angegeben sind.

**Gesetze zur Berechnung des Gesamtwiderstandes zweier Widerstände in Reihen- und Parallelschaltung.** Ausgehend von Beispielen aus der Praxis (z. B. Reihenschaltung von Glühlampen, Parallelschaltung von Geräten im Haushalt) wird die Problemstellung entwickelt: Wie verändert sich der Gesamtwiderstand, wenn zu einem Bauelement ein zweites in Reihe oder parallel geschaltet wird?

Das weitere Vorgehen kann in verschiedener Weise erfolgen. Eine Möglichkeit besteht darin, die Gesetze den Schülern zu geben. Eine anspruchsvollere Möglichkeit, die in leistungsstarken Klassen realisiert werden kann, ist die Herleitung eines oder beider Gesetze auf theoretischem Wege. Damit kann den Schülern exemplarisch gezeigt werden, wie aus bereits bekanntem Wissen auf neues Wissen geschlossen werden kann.

Unabhängig von der Art des Vorgehens muß der Schwerpunkt auf der Interpretation und der Festigung der Gesetze durch Anwendung liegen. Dazu sind folgende Aufgaben besonders geeignet: LB, S. 55, Aufg. 1 und 2.

**Untersuchung des Gesetzes für die Spannungsverteilung an zwei in Reihe geschalteten Bauelementen.** Zur Motivierung des SE kann der Einführungsabschnitt im LB, S. 53, genutzt werden. Statt dessen kann auch ein DE gezeigt werden, bei dem die Helligkeit einer Glühlampe durch einen verstellbaren Widerstand verändert wird. Beides führt zu der

zu untersuchenden Fragestellung (LB, S. 53). Für die Einordnung des SE in den Unterrichtsprozess gibt es folgende Möglichkeiten:

- a) Das SE wird als Erarbeitungsexperiment durchgeführt. Ergebnis der Auswertung des Experiments ist das gesuchte Gesetz. Der Schwerpunkt liegt damit auf der selbständigen experimentellen Untersuchung eines gesetzmäßigen Zusammenhangs und auf dem Finden des Gesetzes.
- b) Das gesuchte Gesetz wird theoretisch hergeleitet: Aus der Gleichung  $I_1 = I_2$  für den unverzweigten Stromkreis ergibt sich durch Anwendung von  $I = U/R$  die Gleichung  $U_1/R_1 = U_2/R_2$  oder  $U_1/U_2 = R_1/R_2$ . Das SE wird in diesem Falle als Bestätigungsexperiment durchgeführt. Dies erfolgt in selbständiger experimenteller Arbeit.

Bezüglich der Anforderungen an die experimentelle Arbeit sind die beiden genannten Möglichkeiten gleichwertig. In beiden Fällen kann nach der Anleitung im LB gearbeitet werden. Eine Entscheidung über die zu wählende Variante ist aus der Sicht zu treffen, ob die Schüler den empirischen oder den theoretischen Weg der Erkenntnisgewinnung erleben sollen.

Bei der Durchführung des Schülerexperiments ist zu beachten, daß die Widerstände zwischen den Schülergruppen ausgetauscht werden müssen. Einen Widerstand von  $25 \Omega$  erhält man am Drehwiderstand ( $50 \Omega$ ) durch Einstellen des Abgriffs auf Mittelstellung. Grundlage für die Fehlerbetrachtung ist das in den Klassen 7 und 8 vermittelte Wissen und Können zu Fehlern bei physikalischen Messungen. Für die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des SE sollte eine Unterrichtsstunde vorgesehen werden.

**Anwenden der Gesetze zum Lösen von Aufgaben.** Im Mittelpunkt steht das Lösen komplexer Aufgaben mit dem Ziel der Festigung des Wissens über die behandelten Gesetze und der Befähigung der Schüler zum selbständigen Anwenden der Gesetze. Besonders geeignet sind folgende Aufgaben: LB, S. 57, Aufg. 4, S. 59, Aufg. 1 und 2; Aufg. 4 und 5 aus dem Abschnitt „Wiederholung und Übung“, LB, S. 89.

## *Meßfehler und deren Einfluß auf das Ergebnis*

1 Stunde

Am Beispiel der Messung elektrischer Größen soll den Schülern verdeutlicht werden, welche Meßfehler bei Spannungs- und Stromstärkemessungen auftreten, welche Werte diese Fehler haben können, wodurch die Fehler klein gehalten werden können und wie sich die Fehler auf ein zu berechnendes Ergebnis auswirken. Damit erfolgt eine Vertiefung der in den Klassen 7 und 8 begonnenen Fehlerbetrachtungen.

### **Ziele**

#### **Die Schüler**

- wissen, daß bei der Messung mit elektrischen Meßgeräten verschiedene Meßfehler auftreten;
- erkennen, wie die Meßfehler durch die Wahl des Meßbereiches beeinflusst werden können;
- gewinnen die Erkenntnis, daß die Genauigkeit eines Ergebnisses von der Genauigkeit der Messung jeder einzelnen Größe abhängig ist.

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Fehler bei der Messung von Spannung und Stromstärke.** Zur Motivierung für die genauere Beschäftigung mit Meßfehlern kann an die Ergebnisse des SE angeknüpft werden. Eine andere Variante besteht darin, von der Bedeutung der Genauigkeit von Messungen aus volkswirtschaftlicher Sicht auszugehen. Damit werden Gedankengänge aufgegriffen, die bei der Temperaturmessung (Kl. 8) bereits mit den Schülern diskutiert wurden.

Dabei sollte den Schülern bewußt gemacht werden: In der Praxis kommt es bei der Messung physikalischer Größen nicht darauf an, jeweils so genau wie irgend möglich zu messen. Entscheidend ist vielmehr, so genau zu messen, wie es für den jeweiligen Zweck erforderlich ist. Dazu muß man aber die auftretenden Meßfehler kennen.

Im weiteren Unterrichtsablauf sollte eine Orientierung am LB erfolgen. Dort sind das angestrebte Niveau und die zu vermittelnden Erkenntnisse dargestellt. Hierbei ist zweierlei zu beachten:

- Bei den zu den Größen angegebenen Fehlern (LB, S. 57) handelt es sich um Größtfehler. Mit diesen muß man rechnen, auch wenn der tatsächliche Fehler erheblich kleiner sein kann.
- Die formulierte Regel über die Wahl des Meßbereiches (LB, S. 57) muß sich für die Schüler erkennbar als logische Folgerung aus den Fehlerbetrachtungen ergeben. Diese Regel wird im Stoffgebiet „Elektrotechnik“ des ESP-Unterrichts (Kl. 9) aufgegriffen.

**Einfluß von Meßfehlern auf das Ergebnis.** Der Einfluß von Meßfehlern auf das Ergebnis wird exemplarisch am Beispiel der Bestimmung des elektrischen Widerstandes eines Bauelements behandelt. Dazu empfiehlt es sich, in Analogie zur Lehrbuchdarstellung im DE eine Stromstärke- und Spannungsmessung an einem Bauelement durchzuführen und unter Beachtung der Güteklasse der verwendeten Meßgeräte die prozentualen Fehler für Spannung und Stromstärke zu ermitteln.

Das weitere Vorgehen kann unterschiedlich erfolgen. Eine Möglichkeit besteht darin, den Schülern mitzuteilen, wie sich der Fehler für einen Quotienten oder ein Produkt ergibt. Eine andere Möglichkeit ist die, zunächst mit Hilfe der größtmöglichen und der kleinstmöglichen Werte für  $U$  und  $I$  die Werteschränken für den elektrischen Widerstand  $R$  zu ermitteln. Auch in diesem Falle ist den Schülern anschließend mitzuteilen, daß sich der prozentuale Fehler eines Quotienten oder eines Produktes als Summe der prozentualen Fehler der einzelnen Größen ergibt. Eine Ableitung dieser Regel aus den Betrachtungen zu den Werteschränken ist nicht zu empfehlen. Diese Betrachtungen verdeutlichen aber für den Schüler die Zweckmäßigkeit der genannten Regel.

Damit ist die Grundlage für das Herausarbeiten folgender wichtiger Erkenntnis gegeben: Die Genauigkeit eines Ergebnisses ist von der Genauigkeit der Messung jeder einzelnen Größe abhängig.

## *Voraussetzungen für elektrische Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten*

1 Stunde

### Ziele

Die Schüler

- festigen ihr Wissen über den elektrischen Strom und dessen Nachweis;
- kennen die Voraussetzungen für elektrische Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten

## Unterrichtsmittel

Kupfersulfat  
Kochsalz  
Verdünnte Schwefelsäure  
Destilliertes Wasser

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Elektrischer Strom und sein Nachweis.** Zur Sicherung des erforderlichen Ausgangsniveaus wird der Begriff des elektrischen Stromes wiederholt. Zur anschaulichen Deutung ist das in Klasse 8 behandelte Modell der Elektronenleitung einzubeziehen. Da bei der Behandlung des nachfolgenden Stoffes jeweils stationäre Ströme in den verschiedenen Medien betrachtet werden, sollte die gerichtete Bewegung von Ladungsträgern im elektrischen Feld betont werden. Bei den Nachweismöglichkeiten des elektrischen Stromes werden die Schüler vor allem auf diejenigen aufmerksam gemacht, die in den nachfolgenden Stunden genutzt werden. Das sind

- die Messung der Stromstärke mit einem Strommesser; diese sollte verbunden werden mit Übungen im Ablesen von Meßwerten und im Umrechnen von Einheiten;
  - der Nachweis des elektrischen Stromes mit einer Glühlampe;
  - der indirekte Nachweis des elektrischen Stromes mit einem Elektroskop.
- Dazu sollten auch Experimente durchgeführt werden, bei denen auf die Grenzen dieser Nachweismöglichkeiten aufmerksam gemacht werden kann.

**Voraussetzungen für elektrische Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten.** Ausgangspunkt kann eine Problemstellung in Anlehnung an den Einführungsabschnitt im LB, S. 60, sein. Nach der Klärung des Sachverhalts für Metalle wird die Frage in den Mittelpunkt gestellt, ob die beiden Voraussetzungen – wanderungsfähige Ladungsträger und ein elektrisches Feld – immer erfüllt sein müssen, wenn ein elektrischer Strom fließen soll. Es ist wichtig, hierbei zu beachten, daß es immer um stationäre Ströme geht. Die genannte Frage wird am Beispiel verschiedener Flüssigkeiten experimentell untersucht. Die Untersuchung kann im DE oder im SE erfolgen. Die Dissoziation und der Aufbau von leitenden Flüssigkeiten sind im Chemieunterricht der Klasse 8 behandelt worden. In Abhängigkeit von den Vorkenntnissen der Schüler muß darauf entsprechend ausführlich eingegangen werden. Dabei ist es zweckmäßig, den Schülern im DE auch zu zeigen, daß trockenes Salz allein und destilliertes Wasser allein den Strom nicht leiten, sondern erst die Lösung in Wasser zur Dissoziation und damit zum Stromfluß führt.

## *Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten*

1 Stunde

### Ziele

Die Schüler

- wissen, wie elektrische Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten verlaufen;
- können Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten anhand einfacher Modelle erläutern;

- erfassen, daß die herausgearbeiteten Aussagen zu Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge für alle Stoffe und das Vakuum gelten;
- gewinnen erste Einsichten darüber, daß mit Hilfe weniger Aussagen und einfacher Modelle vielfältige, komplizierte Erscheinungen beschrieben und erklärt werden können.

## Unterrichtsmittel

Luftkissentisch

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Aufbau von Metallen und von leitenden Flüssigkeiten.** Den Aufbau von Metallen und von leitenden Flüssigkeiten können sich die Schüler mit Hilfe des LB selbst erarbeiten. Zur Vertiefung empfiehlt sich nachfolgend die Einbeziehung dynamischer Modelle. Dafür eignet sich der Luftkissentisch. Mit ihm lassen sich sowohl der Aufbau von Metallen als auch der Aufbau von leitenden Flüssigkeiten demonstrieren. Als Ionen und Moleküle werden dabei verschiedenfarbige Schwebekörper verwendet. Insbesondere kann mit Hilfe des Luftkissentisches auch die ständige ungeordnete Bewegung der Teilchen verdeutlicht werden.

**Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge in diesen Stoffen.** Das Herausarbeiten der Aussagen zum Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge erfolgt schrittweise entsprechend der LB-Darstellung. Die Aussagen zur gerichteten Bewegung im elektrischen Feld und zur Behinderung der gerichteten Bewegung in Stoffen sollten durch Modellexperimente mit dem Luftkissentisch veranschaulicht werden. Dabei müssen den Schülern der Modellcharakter dieser Experimente und damit sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede zwischen Modell und Realität bewußt gemacht werden. Ausführliche Hinweise dazu sind in der Anleitung zum Luftkissentisch enthalten. Die Aussage zu den Energieumwandlungen bei Leitungsvorgängen bezieht sich auf die Vorgänge im Leiter. Es darf bei den Schülern nicht der Eindruck entstehen, als ob mit dieser Aussage der Energietransport von der Spannungsquelle zu verschiedenen Stellen des Leiters oder zu Verbrauchern beschrieben sei. Dieser Energietransport erfolgt nicht durch die Leitungselektronen, sondern über das elektromagnetische Feld zu den verschiedenen Stellen des Stromkreises.

**Zusammenfassung von Aussagen zu elektrischen Leitungsvorgängen.** Mit Hinweis auf die bisherigen Betrachtungen zu Metallen und leitenden Flüssigkeiten sowie auf die gesellschaftliche Erfahrung werden die Aussagen hervorgehoben, die für elektrische Leitungsvorgänge in beliebigen Stoffen und im Vakuum gültig sind. Dazu kann eine selbstgefertigte Folie genutzt werden.

Abschließend werden die Schüler darauf orientiert, daß im weiteren die elektrischen Leitungsvorgänge in Gasen, im Vakuum und in Halbleitern behandelt werden. Dabei stehen jeweils folgende Fragen im Mittelpunkt:

- Wie ist der jeweilige Stoff aufgebaut?
- Sind wanderungsfähige Ladungsträger vorhanden oder wie können sie bereitgestellt werden?
- Wie verläuft der elektrische Leitungsvorgang? Welche Besonderheiten treten auf? Welche Anwendungen gibt es?

Mit diesen Fragen ist zugleich die methodische Konzeption verdeutlicht, die dem Unterricht bei der Behandlung der Leitungsvorgänge in den verschiedenen Medien zugrunde gelegt werden sollte. Es ist zugleich die Konzeption, die Grundlage für die Lehrbuchdarstellung ist.

Anliegen der Stunde ist es, die Schüler in konzentrierter Form mit Möglichkeiten des Bereitstellens von wanderungsfähigen Ladungsträgern bekannt zu machen. Dabei bietet sich eine enge Verbindung von experimenteller Arbeit und selbständiger Schülerarbeit mit dem LB an.

## **Ziele**

Die Schüler

- erhalten einen ersten Einblick in die praktische Bedeutung elektrischer Leitungsvorgänge in Gasen und im Vakuum;
- kennen den Aufbau von Gasen;
- wissen, daß in Gasen wanderungsfähige Ladungsträger durch Ionisation bereitgestellt werden können;
- können Möglichkeiten der Ionisation eines Gases nennen und erläutern;
- wissen, daß in Gasen und im Vakuum wanderungsfähige Ladungsträger durch Emission (Glühemission, Fotoemission) bereitgestellt werden können;
- können den Vorgang der Glühemission und der Fotoemission erläutern.

## **Unterrichtsmittel**

UV-Strahler  
Luftkissentisch

## **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**Bereitstellung wanderungsfähiger Ladungsträger in Gasen durch Ionisation.** Als Zielorientierung für diese und die nächsten Stunden sollte der Lehrer den Schülern einen Einblick in die Anwendung elektrischer Leitungsvorgänge in Gasen und im Vakuum geben. Damit soll den Schülern die Bedeutung der elektrischen Leitungsvorgänge in diesen Medien und die Notwendigkeit der Beschäftigung mit diesem Unterrichtsstoff bewußt werden und zugleich ihr Interesse geweckt werden. Als Beispiel eignen sich die im LB genannten Anwendungen. Auch auf den Erfahrungsbereich der Schüler sollte zurückgegriffen werden.

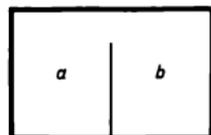
Ausgangspunkt für die weiteren Überlegungen sind die Fragen, die für jedes zu untersuchende Medium zu beantworten sind (siehe Erläuterungen zur thematischen Einheit „Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten“). Nach der Behandlung des Aufbaus von Gasen und der Klärung des Begriffs Vakuum – es sollte vereinfacht als Raum mit einer vernachlässigbaren Anzahl von Gasmolekülen eingeführt werden – wird die Frage in den Mittelpunkt gerückt, ob Ladungsträger vorhanden sind oder wie sie bereitgestellt werden können. Das weitere Vorgehen ergibt sich aus der Sachlogik und sollte so erfolgen, wie es im LB, S. 63 bis 64, dargestellt ist. Die Erklärungen für die in den DE beobachteten Erscheinungen können die Schüler weitgehend selbständig mit Hilfe des LB finden.

**Bereitstellung wanderungsfähiger Ladungsträger in Gasen und im Vakuum durch Emission.** Die Demonstration der Glühemission kann mit Hilfe einer Diode erfolgen. Für die anschauliche Darstellung der Glühemission ist ein Modellexperiment mit Hilfe des Luftkissentisches empfehlenswert. Im Zusammenhang mit der Glühemission sollte ein Hinweis auf die Bedeutung dieser Erscheinung für die Entwicklung der Elektronik zu Beginn dieses Jahrhunderts erfolgen (siehe auch LB, S. 64 bis 65).

Die Behandlung der Photoemission läßt sich problemhaft anlegen, wenn man die in LBA 65/2 und 65/3 dargestellten Experimente in den Mittelpunkt stellt und mit den Schülern mögliche Gründe für die beobachteten Erscheinungen diskutiert. Die Erklärung für die beobachteten Erscheinungen finden die Schüler im LB, S. 66.

In einer Zusammenfassung sollte noch einmal das Wesen von Ionisation und Emission deutlich gemacht und dabei Gemeinsames und Unterschiedliches herausgearbeitet werden. Grundlage dafür ist das vorgeschlagene Tafelbild.

Bild 10  
Tafelbild zur  
Ionisation und Emission



Bereitstellung von wanderungsfähigen Ladungsträgern  
in Gasen und im Vakuum

Ionisation

Aufspaltung von neutralen Gasmolekülen bei Energiezufuhr durch

- Wärme
- Strahlung
- Stoß

Wanderungsfähige Ladungsträger:

- Elektronen
- positiv geladene Ionen

Emission

Austritt von Elektronen aus Stoffen bei Energiezufuhr durch

- Wärme (Glühemission)
- Strahlung (Photoemission)

Wanderungsfähige Ladungsträger:

- Elektronen

## Elektrische Leitungsvorgänge in Gasen und deren Anwendung

1 Stunde

### Ziele

Die Schüler

- können die Aussagen zu Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge auf Leitungsvorgänge in Gasen anwenden;
- wissen, daß elektrische Leitungsvorgänge in Gasen mit der Abstrahlung von Licht und der Abgabe von Wärme verbunden sind;
- kennen Beispiele für die Anwendung elektrischer Leitungsvorgänge in Gasen sowie für ihr Auftreten in Natur und Technik.

### Unterrichtsmittel

K-F „Leitungsvorgänge in Gasen“

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

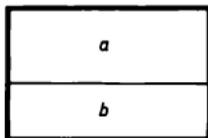
**Elektrischer Leitungsvorgang in Gasen.** Ausgangspunkt sollte die Wiederholung der Aussagen zu Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge sein. Die Aussagen werden in dieser Stunde auf Gase angewendet.

Es empfiehlt sich auch eine ausführliche Wiederholung und damit eine Festigung der verschiedenen Möglichkeiten des Bereitstellens von Ladungsträgern in Gasen (Ionisation und Emission). Dies kann auch in Form einer schriftlichen Kurzkontrolle erfolgen.

Anschließend wird der Leitungsvorgang in Gasen beschrieben und modellmäßig gedeutet (LBA 67/1).

In einem DE wird den Schülern gezeigt, daß elektrische Leitungsvorgänge in Gasen mit verschiedenartigen Leuchterscheinungen verbunden sein können, die u. a. abhängig sind von der Art des Gases und vom Druck. Auf Einzelheiten dieser Abhängigkeiten ist nicht einzugehen. Am Beispiel eines Lichtbogens wird demonstriert, daß neben der Abstrahlung von Licht auch Wärme abgegeben wird (Bild 11). Dazu werden zwei in Holtzsche Klemmen eingespannte Kohlestäbe mit einem Schalter und einem Schutzwiderstand in Reihe geschaltet und an 220 V (Netzspannung) angeschlossen. Ein kurzes Berühren und Auseinanderziehen der Kohlestäbe führt zu einem intensiven Lichtbogen. Er ist unbedingt mit einer getönten Schutzscheibe abzuschirmen. Beim Abschalten, das wegen der hohen Stromstärke nach kurzer Zeit erfolgen sollte, können die hell glühenden Spitzen der Kohlestäbe gut beobachtet werden.

Bild 11  
Tafelbild  
zu den elektrischen  
Leitungsvorgängen  
in Gasen



Elektrische Leitungsvorgänge in Gasen



*Elektronen und positiv geladene Ionen werden durch Ionisation oder Emission bereitgestellt.*

*Es wird Licht abgestrahlt und Wärme abgegeben*

Anwendung bzw. Auftreten

- Beleuchtungstechnik (Glimmlampe, Leuchtstofflampe)
- Erhitzung von Materialien (Elektroschweißen)
- Blitz

**Anwendungsbeispiele zum elektrischen Leitungsvorgang in Gasen.** Bei der Anwendung elektrischer Leitungsvorgänge in Gasen werden die Leuchterscheinungen in den Mittelpunkt gerückt. Der Lehrer demonstriert an verschiedenen Beispielen, wie Leitungsvorgänge in Gasen auftreten können, oder wie sie angewendet werden (z. B. Glimmlampe, Leuchtstofflampe, Funkenüberschlag beim Funkeninduktor oder Bandgenerator).

Ein Experiment mit der Glimmlampe kann unter Nutzung des SEG Elektrostatik auch als SE durchgeführt werden.

Beim Vergleich des Wirkungsgrades verschiedener Lichtquellen sind die Schüler auf das Streben nach immer besseren technischen Lösungen und auf Probleme der rationellen Nutzung von Energie hinzuweisen. Es ist zu beachten, daß der Aufbau und die Wirkungsweise der Leuchtstofflampe Unterrichtsstoff im ESP-Unterricht der Klasse 10 ist.

Anschließend werden im UG weitere Beispiele zusammengetragen. Dabei sollte der Lehrer darauf hinweisen, daß Leitungsvorgänge in Gasen einerseits technisch genutzt werden (Beleuchtungstechnik, Zündfunke bei Zündkerzen, Lichtbogen, Elektroschweißen, Lichtbogenofen), andererseits unerwünscht sind (Verzudern von Kontakten, Funkenüberschläge an Schaltern u. a.). Ein Hinweis auf das Auftreten von Leitungsvorgängen in Gasen in der Natur (Blitz, Elmsfeuer, Polarlicht) sollte nicht fehlen. In dieser Stunde kann die Fernseh-sendung „Anwendung elektrischer Leitungsvorgänge in Gasen“ eingesetzt werden. Die Stundenkonzeption ist dann entsprechend dem auf Anwendungen orientierten Inhalt dieser Schulfernseh-sendung zu verändern.

## *Elektrische Leitungsvorgänge im Vakuum und deren Anwendung* 2 Stunden

### **Ziele**

Die Schüler

- können die Aussagen zu Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge auf Leitungsvorgänge im Vakuum anwenden;
- können den Aufbau einer Elektronenstrahlröhre beschreiben und deren Wirkungsweise erläutern;
- wissen, wie man mit Hilfe des Wehnelt-Zylinders die Helligkeit des Leuchtflecks auf dem Bildschirm steuern kann;
- kennen die prinzipielle Wirkungsweise eines Oszillographen;
- erhalten Hinweise auf die Anwendung von Elektronenstrahlröhren beim Fernsehen.

### **Unterrichtsmittel**

Elektronenstrahlröhre BR 2  
Klappfolie entsprechend LBA 69/1 (S)  
Oszillograph

### **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**Elektrischer Leitungsvorgang im Vakuum.** Die Anwendung der Aussagen zu Voraussetzungen und Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge auf den Leitungsvorgang im Vakuum kann durch die Schüler weitgehend selbständig erfolgen. Als Besonderheit ist das Fehlen von Wechselwirkungen zwischen den Elektronen und anderen Teilchen und die damit auftretenden hohen Geschwindigkeiten der Elektronen hervorzuheben. Es kann ein Hinweis darauf gegeben werden, daß die erreichten Geschwindigkeiten nur von der anliegenden Spannung und nicht von den Abmessungen der Röhre abhängig sind.

**Aufbau und Wirkungsweise einer Elektronenstrahlröhre.** Als eine bedeutsame Anwendung elektrischer Leitungsvorgänge im Vakuum wird die Elektronenstrahlröhre herausgestellt. Beim methodischen Herangehen sollte sich der Lehrer an den Schritten orientieren, die im LB Kl. 7, S. 29, für die Beschreibung eines technischen Gerätes und die Erklärung seiner Wirkungsweise angegeben sind. Mit Hinweisen auf konkrete Beispiele, etwa auf die Fernsehbildröhre, soll zugleich das Interesse der Schüler geweckt werden. Aufbau und Wirkungsweise der Elektronenstrahlröhre sind schrittweise zu erarbeiten, wobei eine enge

Verknüpfung zwischen der Demonstration am Realobjekt (Braunsche Röhre BR 2) und der Arbeit mit dem LB hergestellt werden sollte. LBA 69/1 kann auch als Vorlage für eine selbst herzustellende Klappfolie dienen.

Ein Schwerpunkt in dieser Stunde liegt auf der Steuerung der Intensität des Elektronenstrahls mit Hilfe des Wehnelt-Zylinders. An diesem Beispiel soll den Schülern das Wesen der Steuerung durch ein elektrisches Feld bewußtgemacht werden. Als HA erhalten die Schüler den Auftrag, mit Hilfe des LB für die nächste Stunde einen Kurzvortrag zum Thema „Aufbau und Wirkungsweise einer Elektronenstrahlröhre“ vorzubereiten.

**Oszillograph und Fernsehbildröhre.** Bei der Behandlung des Oszillographen geht es nicht um technische Einzelheiten, sondern um die physikalische Wirkungsweise. Sie kann mit Hilfe der LBA 71/1 schrittweise erarbeitet und jeweils parallel dazu demonstriert werden. Im Lehrbuch ist das obere Niveau der Behandlung dargestellt. Zur Abrundung sollte der Lehrer Hinweise auf Anwendungsbeispiele des Oszillographen in Wissenschaft und Technik geben.

Die Hinweise auf das Fernsehen sind als Ausblick gedacht. Hier bieten sich auch günstige Möglichkeiten an, interessierte Schüler zur weiteren Beschäftigung mit technischen Problemen anzuregen. Ein Hinweis auf den erforderlichen Arbeitsschutz darf dabei nicht fehlen. Die HA ist davon abhängig, wie der Lehrer die folgende Stunde gestalten will.

### *Festigung und Kontrolle*

1 Stunde

In Abhängigkeit von der Klassensituation können für diese Stunde vom Lehrer verschiedene Schwerpunkte gewählt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, das bisher vermittelte Wissen und Können zur Stoffeinheit „Elektrische Leitungsvorgänge“ zu wiederholen und zu systematisieren. Als Systematisierungsaspekte können dabei Fragen dienen, die in den Erläuterungen zur thematischen Einheit „Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten“ genannt sind. Genutzt werden kann auch die Systematisierung zu den elektrischen Leitungsvorgängen im LB, S. 88.

Durch Lösen von Aufgaben erfolgt eine weitere Festigung des Wissens und Könnens der Schüler. Besonders geeignet sind hierfür Aufgaben aus dem Lehrbuchabschnitt „Wiederholung und Übung“. Der Lehrer kann aus den Aufgaben 1 bis 9, LB, S. 89, auswählen.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Festigung mit einer mündlichen oder schriftlichen Leistungskontrolle zu verbinden.

### *Aufbau von Halbleitern und Beeinflussung ihres elektrischen Widerstandes durch Zufuhr von Wärme und durch Bestrahlung mit Licht*

3 Stunden

Schwerpunkte dieser thematischen Einheit sind die Klärung des Begriffs Halbleiter sowie die Demonstration der starken Beeinflussbarkeit elektrischer Leitungsvorgänge in speziellen Halbleitern durch Wärme und durch Licht. Die Betrachtungen erfolgen weitgehend phänomenologisch. Im Vordergrund stehen jeweils die Demonstration der Beeinflussbarkeit des elektrischen Leitungsvorganges und die Darstellung typischer Anwendungen dieser Erscheinungen.

## Ziele

Die Schüler

- wissen, was Halbleiter sind;
- kennen den Aufbau von Silizium und können ihn beschreiben;
- wissen, daß der elektrische Widerstand von Halbleitern in starkem Maße temperaturabhängig ist und können diese Temperaturabhängigkeit erläutern;
- kennen das  $I$ - $\vartheta$ -Diagramm eines Heißleiters und können es interpretieren;
- wissen, daß die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Halbleitern in vielen Fällen eine unerwünschte Erscheinung ist, beim Halbleiter-Widerstandsthermometer aber genutzt wird;
- wissen, wie sich der elektrische Widerstand eines Fotowiderstandes bei Beleuchtung mit Licht ändert und können die Widerstandsänderung eines Fotowiderstandes bei Veränderung der Beleuchtung erläutern;
- können Beispiele für die Anwendung von Halbleiterbauelementen nennen, bei denen der Leitungsvorgang durch Beleuchtung mit Licht beeinflusst wird.

## Unterrichtsmittel

Geräte für SE entsprechend LB, S. 74  
Gefäß mit warmem Wasser (etwa 40°C)  
Fo: Halbleiter I  
Fotowiderstand oder Fotodiode  
Lichtschranke zum Polydigit

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Aufbau von Halbleitern.** Zu Beginn der Behandlung von Halbleitern sollte der Lehrer eine Langzeitmotivierung und -orientierung geben. Dabei ist die Bedeutung von Halbleitern für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt hervorzuheben. Beispiele aus den verschiedensten Bereichen von Wissenschaft und Technik sowie aus dem Erfahrungsbereich der Schüler machen den Umfang der Anwendung von Halbleiterbauelementen deutlich. Zielgerichtet sind hierbei aktuelle Dokumente von Partei und Regierung mit einzubeziehen. Es ist zu unterstreichen, daß im Physikunterricht die *physikalischen Grundlagen* im Mittelpunkt stehen. Als langfristige HA werden den Schülern die Aufg. 5 und 6, LB, S. 87, gestellt. Empfehlenswert ist es auch, die Gestaltung einer Wandzeitung zum Thema „Elektronische Bauelemente und deren Anwendung“ anzuregen. Gemeinsam mit den Schülern werden für die Technik wesentliche Halbleiter, zur Wiederholung auch Leiter und Isolatoren aufgezählt und notiert. Über den Aufbau von Silizium können sich die Schüler selbständig mit Hilfe des LB, S. 73 und 74, informieren. Einbezogen werden kann auch die Folie „Halbleiter I“. Dabei sind die Schüler darauf hinzuweisen, daß Siliziumkristalle räumliche Gebilde sind, im Unterricht aber zur Vereinfachung zumeist mit ebenen Darstellungen gearbeitet wird.

Auf den Leitungsvorgang in Halbleitern ist an dieser Stelle nicht einzugehen, da es in dieser und in den darauffolgenden beiden Stunden schwerpunktmäßig nicht um den Verlauf des Leitungsvorganges und seine Erklärung, sondern um die weitgehend phänomenologische Darstellung von Möglichkeiten seiner Beeinflussung geht.

**Einfluß der Temperatur auf den elektrischen Leitungsvorgang in Halbleitern.** Die Hinführung zum SE kann in Anlehnung an das LB problemhaft erfolgen. Das SE kann nach

der Anleitung im LB von den Schülern weitgehend selbständig durchgeführt werden. Für die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des SE sind mindestens 30 min einzuplanen.

Die Erläuterung der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Halbleitern können sich die Schüler mit Hilfe des Lehrbuches selbst erarbeiten.

Auf die Begriffe Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger sowie auf den Leitungsmechanismus im Halbleiter ist nicht einzugehen.

**Bedeutung der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Halbleitern.** Die Bedeutung der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Halbleitern sollte den Schülern an einigen geeigneten Beispielen bewußt gemacht werden. Einen günstigen Anknüpfungspunkt bieten Hinweise in Bedienungsanleitungen elektronischer Geräte (Rechner, Fernsehgeräte usw.).

Als Beispiel für die Anwendung der untersuchten Erscheinung wird das Halbleiterwiderstandsthermometer betrachtet. Das Meßprinzip wird anhand einer einfachen Schaltung (LBA 76/1) unter Einbeziehung des  $I$ - $\vartheta$ -Diagramm erläutert und im DE gezeigt, indem der Halbleiter in Bechergläser mit Wasser unterschiedlicher Temperatur eingetaucht wird.

Zur weiteren Festigung des Wissens und Könnens wird abschließend die Aufg. 13, LB, S. 90, gelöst.

Mit Hinweis auf die zahlreichen, den Schülern bereits bekannten Diagramme wird die Frage nach der Bedeutung von Diagrammen und den aus ihnen ablesbaren physikalischen Zusammenhängen aufgeworfen. In den Mittelpunkt wird hierbei das Interpretieren von Diagrammen gestellt. Die im LB, S. 76, angegebenen Schritte dienen als Orientierung. Dabei ist ein formales Herangehen zu vermeiden. Es muß beachtet werden, daß nicht bei jedem Diagramm alle im LB genannten Schritte gegangen werden können und mit diesen Schritten für verschiedene Diagramme die Interpretationsmöglichkeiten nicht ausgeschöpft sind. So wird z. B. der Anstieg des Graphen und die Fläche unter dem Graphen nicht mit erfaßt. Dies ist aber im Interesse einer sinnvollen Beschränkung vertretbar.

Zur Festigung können abschließend verschiedene, den Schülern bereits bekannte Diagramme interpretiert werden (z. B.  $I$ - $U$ -Diagramm eines metallischen Leiters, Bilder 89/1 und 90/1 im LB).

**Einfluß von Licht auf den elektrischen Leitungsvorgang in Halbleitern.** Es ist herauszustellen, daß die Beeinflussung des elektrischen Leitungsvorgangs in Halbleitern durch die Temperatur eine allgemeine Erscheinung ist, der Leitungsvorgang in speziellen Halbleitern aber auch anderweitig beeinflusst werden kann (siehe LB, S. 77). Als Beispiel wird die Beeinflussung des elektrischen Leitungsvorgangs durch Licht untersucht. Einige Anwendungsbeispiele dafür sind im LB, S. 77, genannt. Sie können in die Motivierung einbezogen werden. Auch der Erfahrungsbereich der Schüler sollte hierbei genutzt werden. Zur Motivierung ist es auch möglich, vor Stundenbeginn an einer zweckmäßig gewählten Stelle des Raumes eine mit einer Klingel gekoppelte Lichtschranke aufzubauen und in Betrieb zu setzen.

Die weiteren Betrachtungen erfolgen am Beispiel des Fotowiderstandes. Über dessen Aufbau können sich die Schüler im LB, S. 77, informieren. Zur Demonstration der Beeinflussung des elektrischen Leitungsvorgangs durch verschieden starke Beleuchtung eignen sich neben Fotowiderständen auch Fotodioden. Fotozellen sollten nicht verwendet werden, da ihre Wirkungsweise auf einem völlig anderen Effekt beruht. Auf jeden Fall sollten die Schüler aber darauf aufmerksam gemacht werden, daß es verschiedenartige elektronische Bauelemente gibt, bei denen der Leitungsvorgang durch Licht beeinflusst wird.

Bei der Erläuterung der Vorgänge im Fotowiderstand liegt der Schwerpunkt auf der Veränderung der Anzahl wanderungsfähiger Ladungsträger mit Veränderung der Beleuchtung. Auf den Leitungsmechanismus im Fotowiderstand ist nicht einzugehen.

Als Anwendung wird die Lichtschranke in den Mittelpunkt gestellt. Zur Demonstration kann eine Lichtschrankenordnung aus Aufbauteilen zusammengestellt werden. Genutzt werden kann auch die Lichtschrankenordnung zum Polydigit, in der sich ein Fototransistor befindet. Eine Gesamtzusammenfassung kann anhand des LB, S. 78, oder anhand einer entsprechenden Folie erfolgen.

## *n-Leitung und p-Leitung in Halbleitern*

1 Stunde

### **Ziele**

Die Schüler

- wissen, daß durch Dotieren n- und p-leitende Halbleiter hergestellt werden können;
- kennen den Aufbau von n- und p-leitenden Halbleitern und können ihn beschreiben;
- wissen, wie der elektrische Leitungsvorgang in n- und p-leitenden Halbleitern vor sich geht und können ihn erläutern.

### **Unterrichtsmittel**

Fo: „Halbleiter II“

Applikationen zur Veranschaulichung der n- und p-Leitung

K-F Störstellenleitung in Halbleitern

Luftkissentisch

### **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**n-Leitung in Halbleitern.** Im Zusammenhang mit der Motivierung und Zielorientierung sollten die Schüler an die Fragen erinnert werden, die für den jeweiligen Stoff und das Vakuum untersucht werden (siehe Erläuterungen zur thematischen Einheit „Verlauf elektrischer Leitungsvorgänge in Metallen und in leitenden Flüssigkeiten“).

Durch Hinweise auf die Anwendung von dotierten Halbleitermaterialien für elektronische Bauelemente wird die Bedeutung des zu behandelnden Stoffes unterstrichen.

Besonders ist hervorzuheben, daß durch Dotieren die Anzahl der wanderungsfähigen Ladungsträger in weiten Grenzen variiert und gezielt beeinflußt werden kann. Dabei ist auf die hohen Anforderungen an die Herstellungstechnologie aufmerksam zu machen.

Der Aufbau von n-leitenden Halbleitern wird in SSA mit dem LB erarbeitet. Bei der Erläuterung des elektrischen Leitungsvorgangs kann neben einem Modellexperiment mit Hilfe des Luftkissentisches auch der K-F zur n-Leitung gezeigt und die Folie „Halbleiter II“ genutzt werden.

Zweckmäßig ist ein Vergleich zwischen der n-Leitung in Halbleitern und der Leitung in Metallen, wobei sowohl auf die Gemeinsamkeiten als auch auf die Unterschiede aufmerksam zu machen ist.

**p-Leitung in Halbleitern.** Die Behandlung der p-Leitung ist sorgfältig vorzubereiten, z. B. durch Analogiebetrachtungen, wie sie im LB, S. 79 und 80, dargestellt sind. Den Schülern muß deutlich werden:

- Entscheidende Voraussetzungen für das Zustandekommen eines elektrischen Stromes ist das Vorhandensein von Löchern.
- Die Löcher bewegen sich bei Vorhandensein eines elektrischen Feldes nicht als eigenständige Ladungsträger (wie z. B. die Ionen in einer wässrigen Lösung), sondern durch das „Springen“ gebundener Elektronen werden Löcher aufgefüllt. Dadurch entstehen an anderen Stellen neue Löcher.
- Der Leitungsvorgang kann durch die (scheinbare) Wanderung von Löchern beschrieben werden. Sie verhalten sich wie positive Ladungsträger.

Zur Veranschaulichung des Leitungsvorganges können neben einem Modellexperiment (Luftkissentisch) und dem K-F die Folie „Halbleiter II“ oder auch selbst zu fertigende Applikationen verwendet werden.

## *Die Halbleiterdiode*

2 Stunden

### **Ziele**

Die Schüler

- kennen den Aufbau einer Halbleiterdiode und können ihn beschreiben;
- wissen, daß eine Diode in Durchlaß- und in Sperrichtung geschaltet werden kann;
- können die Vorgänge in einer Halbleiterdiode bei unterschiedlicher Polung erklären;
- wissen, daß Halbleiterdioden als Gleichrichter verwendet werden und können die Gleichrichterwirkung einer Halbleiterdiode anhand der Vorgänge in der Diode erläutern.

### *Unterrichtsmittel*

Dioden verschiedener Bauform

Fo: „Halbleiter III“

Geräte für SE (LB, S. 81)

### **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**Aufbau einer Halbleiterdiode.** Bisher haben die Schüler homogene Halbleiterbauelemente (Heißeiter, Fotowiderstand) kennengelernt. Zu Beginn dieser thematischen Einheit sollte ihnen deutlich gemacht werden, daß in der Elektronik solche Bauelemente große Bedeutung haben, die aus n- und p-leitenden Halbleitern bestehen (Dioden, Transistoren). Zur Sicherung des Ausgangsniveaus wird die p- und n-Leitung wiederholt. Zur Motivierung der Behandlung der Diode kann der Einführungsabschnitt im LB, S. 81, genutzt werden. Im Interesse der Lebensverbundenheit des Unterrichts sollten den Schülern im Zusammenhang mit der Behandlung des Aufbaus von Halbleiterdioden verschiedene Bauformen gezeigt werden. Die Unterrichtsführung sollte so erfolgen, daß ausgehend von den realen Bauelementen zu einer halbschematischen Zeichnung ihres Aufbaus und von dieser zum Schaltbild übergegangen wird, also eine Abstraktionsreihe durchlaufen wird.

**Wirkungsweise einer Halbleiterdiode.** Die experimentelle Untersuchung des Stromflusses durch eine Halbleiterdiode in Abhängigkeit von der Polung der Spannungsquelle er-

folgt im SE nach der Experimentieranleitung im Lehrbuch. Bei den im SEG enthaltenen Dioden kann in der Regel eine Glühlampe 6 V/0,04 A verwendet werden. Die Anfertigung eines Protokolls ist nicht zu empfehlen. Bei der Erklärung der Versuchsergebnisse sind die Vorgänge in der Grenzschicht in den Vordergrund zu stellen, wobei auf die Einbeziehung des Diffusionsfeldes verzichtet werden sollte. Zur Veranschaulichung der Vorgänge können die Folie „Halbleiter III“ oder selbstgefertigte Applikationen in Kombination mit dem TB genutzt werden.

Bei der Darstellung der Vorgänge in einer Diode in Durchlaßrichtung muß der Lehrer beachten, daß sich die Elektronen und die Löcher nicht gleichmäßig über die gesamte Diode verteilen, sondern bereits in geringem Abstand vom p-n-Übergang infolge Rekombination fast nur noch entweder Elektronen oder Löcher vorhanden sind.

Auch daher empfiehlt es sich, im Unterricht die Vorgänge im p-n-Übergang in den Vordergrund zu stellen.

Nach einer Gesamtzusammenfassung kann zur weiteren Festigung Aufg. 17, LB, S. 90, gelöst werden.

**Anwendung von Dioden als Gleichrichter.** Als Anwendung von Halbleiterdioden wird die Gleichrichtung von Wechselspannung behandelt. Hierbei bietet sich eine enge Verbindung von SSA mit dem LB, S. 82, und einem entsprechenden DE an. Im Sinne eines Ausblicks kann den Schülern der Hinweis gegeben werden, daß zur Erzeugung einer konstanten Gleichspannung kompliziertere Schaltungen mit mehreren Gleichrichtern und weiteren Bauelementen verwendet werden müssen.

## Der Transistor

2 Stunden

### Ziele

Die Schüler

- kennen den prinzipiellen Aufbau eines npn-Silizium-Transistors und können ihn beschreiben;
- kennen die Emitterschaltung als eine Schaltmöglichkeit des Transistors;
- untersuchen die Basisstromstärke  $I_B$  und die Kollektorstromstärke  $I_C$  eines Transistors unter verschiedenen Bedingungen;
- wissen, daß beim npn-Transistor der Kollektorstrom durch den Basisstrom gesteuert wird und können die Steuerung des Kollektorstromes durch den Basisstrom erläutern;
- können die  $I_C$ - $I_B$ -Kennlinie eines Transistors interpretieren;
- erkennen, daß die Steuerung ein allgemeines Wirkprinzip der Elektronik ist;
- wissen, daß Transistoren als Schalter und als Verstärker angewendet werden.

### Unterrichtsmittel

Fo: „Halbleiter III“

Fo: „Halbleiter IV“

Fo: Steuerung bei Bauelementen (S)

Transistoren verschiedener Bauform

Geräte für SE (LB, S. 84)

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Aufbau und Schaltung eines Transistors.** Der Transistor wird als ein entscheidendes elektronisches Bauelement herausgestellt. Auf die beiden Hauptgruppen von Transistoren (Bipolartransistoren, Feldeffekttransistoren) und auf die Vielfalt der Bauformen sollten die Schüler hingewiesen werden. Zu empfehlen ist das Zeigen verschiedener Arten von Transistoren. In diesem Zusammenhang können die Schüler durch Größenvergleiche auf wesentliche Unterschiede zwischen Elektronenröhren und Transistoren aufmerksam gemacht werden.

In diesem Stundenteil steht der npn-Si-Transistor im Mittelpunkt. Aufbau und Schaltung werden mit Hilfe des LB, S. 83, und unter Einbeziehung der Folie „Halbleiter IV“ erarbeitet. Dabei erfolgt eine Beschränkung auf die Emitterschaltung des bipolaren Si-Transistors.

**Leitungsvorgang beim Transistor.** Die Motivierung für das SE, mit dem die Schüler die Wirkungsweise des Transistors untersuchen sollen, erfolgt in Anlehnung an die Lehrbuchdarstellung. In Vorbereitung auf das SE ist das Durchführen von Ablesungen an Strommessern unter Nutzung der Folie zum Polyttest zu empfehlen.

Das SE wird entsprechend der Anleitung im LB durchgeführt. Dabei ist zu beachten, daß der Schwerpunkt bei diesem SE auf dem Gewinnen auswertbarer Meßwerte und nicht auf dem selbständigen Aufbauen der Schaltung liegt. Daher sollten den Schülern beim Aufbauen der Schaltung Hilfen gegeben werden. Es ist günstig, auf die Verwendung von Grundbreitern für den Transistor zu verzichten und statt dessen die Verbindungsleiter direkt am Transistor anzubringen. Dadurch wird der Aufbau wesentlich vereinfacht.

Das Einstellen der vorgegebenen Spannungen wird mit Hilfe der Potentiometer im Zusatzteil des SVG vorgenommen. Die Spannungseinstellung erfolgt nach der aufgedruckten Skala. Eine genaue Spannungsmessung ist bei diesem Experiment nicht erforderlich, geringe Abweichungen von den vorgegebenen Werten sind unkritisch.

Als wesentliches Ergebnis ist herauszustellen, daß in Emitterschaltung

- nur dann ein Kollektorstrom fließt, wenn auch ein Basisstrom fließt,
- bei einem kleinen Basisstrom ein erheblich größerer Kollektorstrom fließt und
- eine kleine Änderung der Basisstromstärke eine große Änderung der Kollektorstromstärke hervorruft.

Die Frage, wie die Vorgänge im Transistor erklärt werden können, sollte im Unterricht aufgeworfen werden. In welcher Ausführlichkeit jedoch auf diese Frage eingegangen wird, ist von der Klassensituation abhängig zu machen. In leistungsstarken Klassen und für interessierte Schüler sind einige Hinweise auf die Wirkungsweise aus der Sicht der atomistischen Betrachtungsweise angebracht. Der Lehrer muß dabei aber beachten, daß dies kein Lehrplanschwerpunkt ist.

**$I_C$ - $I_B$ -Diagramm eines Transistors.** Um die Zusammenhänge zwischen Basisstrom und Kollektorstrom genauer zu erfassen, wird auf das  $I_C$ - $I_B$ -Diagramm orientiert. Die Erklärung des Herangehens bei der Aufnahme des  $I_C$ - $I_B$ -Diagramms kann mit Hilfe der LBA 85/1 in Verbindung mit einem DE erfolgen. Im Interesse der rationellen Nutzung der Unterrichtszeit empfiehlt es sich, das Diagramm den Schülern zu geben und den Schwerpunkt auf die Interpretation des Diagramms in SSA zu legen. Dabei erfolgt eine Orientierung an den Schritten, die im LB, S. 76, angegeben sind.

Anhand des DE und des  $I_C$ - $I_B$ -Diagramms wird die Steuerung des Kollektorstromes durch den Basisstrom gründlich wiederholt und damit gefestigt.

Ausgehend von der Frage nach weiteren steuerbaren elektronischen Bauelementen erfolgt eine zusammenfassende Wiederholung bereits behandelter Bauelemente (siehe Folie).

Wichtig ist hierbei, daß den Schülern verschiedene Möglichkeiten der Steuerung deutlich werden und die Steuerung als allgemeines Wirkprinzip der Elektronik erfaßt wird.

**Transistor als Schalter und als Verstärker.** Nach der Demonstration der Anwendung des Transistors als Schalter wird diese Anwendung unter Einbeziehung der halbschematischen Darstellung im LB, S. 85, erläutert. Dabei ist es empfehlenswert, Bezüge zum SE zur Wirkungsweise eines Transistors herzustellen. Dort sind die Fälle „Schalter geschlossen“ und „Schalter geöffnet“ bereits mit erfaßt worden.

In analoger Weise kann bei der Behandlung des Transistors als Verstärker vorgegangen werden. Den Schülern sollte mitgeteilt werden, daß die Stromverstärkung in Abhängigkeit vom Transistortyp und von der Art der Schaltung in weiten Grenzen variieren kann.

An diesem Beispiel soll den Schülern auch das Wesen der Verstärkerwirkung deutlich gemacht werden. Es besteht darin, *daß durch eine kleine Leistung eine große Leistung gesteuert wird.*

Insgesamt muß der Lehrer bei der Behandlung der Anwendung des Transistors beachten, daß im ESP-Unterricht der Klasse 9 auf dieses Bauelement noch einmal eingegangen wird, und zwar aus der Sicht seiner Anwendung in der Informationselektrik

<u>Steuerung bei elektronischen Bauelementen</u>		
Bauelement	Beeinflussung erfolgt durch	Beeinflussung bewirkt Änderung
Elektronenstrahlröhre	elektrisches Feld	der Helligkeit des Leuchtflecks (des Bildes)
Thermistor	Wärme	des elektrischen Widerstandes
Fotowiderstand	Licht	des elektrischen Widerstandes
Transistor	elektrischen Strom (Basisstrom)	der Kollektorstromstärke

Bild 12  
Steuerung  
bei elektronischen  
Bauelementen  
(Folie)

### *Festigung und Kontrolle*

2 Stunden

Die abschließenden Stunden der Stoffeinheit dienen der Festigung und Kontrolle des Wissens und Könnens der Schüler. Wie die Schwerpunkte zu setzen sind, muß der Lehrer aus der Kenntnis der Klassensituation heraus entscheiden.

## **Ziele**

Die Schüler

- festigen durch die Wiederholung und Systematisierung ihr Wissen über elektrische Leitungsvorgänge in verschiedenen Medien;
- erhalten einen Überblick über die historische Entwicklung und über die Anwendung elektronischer Bauelemente in Wissenschaft, Technik, Produktion und im täglichen Leben;
- erkennen die Bedeutung der Elektronik für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt;
- werten die Nutzung der modernen Technik und die damit verbundenen ökonomischen und sozialen Auswirkungen in sozialistischen und imperialistischen Ländern.

## **Unterrichtsmittel**

Anschauungsmaterial zur Anwendung elektronischer Bauelemente (Bedienungsanleitungen, Prospekte, Material aus „Jugend und Technik“, „Technikus“ usw.)

## **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

Neben den Schwerpunkten, die sich aus der Klassensituation ergeben, sind in dieser thematischen Einheit einige weitere Inhalte zu behandeln.

In jedem Falle sind im Zusammenhang mit einer Systematisierung wesentliche Inhalte zu wiederholen. Bei der Wiederholung und Systematisierung kann die im Lehrbuch enthaltene zusammenfassende Übersicht oder eine entsprechend gestaltete Folie (Bild 12) eingesetzt werden.

Untrennbarer Bestandteil dieser Stunde ist auch ein Überblick über die historische Entwicklung und über die Anwendung der Elektronik in verschiedenen Bereichen. In dieser Phase des Unterrichts können die zu Beginn der Behandlung der elektrischen Leitungsvorgänge in Halbleitern vergebene SV in den Unterricht einbezogen werden. Material zu dieser Thematik wird auch im LB, S. 86 bis 87, zur Verfügung gestellt.

Die sozialen und ökonomischen Auswirkungen der immer umfassenderen Anwendung der Elektronik in sozialistischen und imperialistischen Ländern sowie die Bedeutung der Elektronik für die Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts sind den Schülern an Beispielen deutlich zu machen. Dabei sind aktuelle Dokumente von Partei und Regierung einzubeziehen.

In dieser thematischen Einheit besteht auch die Möglichkeit, die Schulfernsehsendung „Halbleiterbauelemente und ihre Anwendung“ einzusetzen.

### *Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Mit dem physikalischen Praktikum wird ein konkreter Beitrag zur Formung der Schülerpersönlichkeit geleistet. Beim Ausführen der Experimente werden die Kenntnisse der Schüler reaktiviert, vertieft und erweitert sowie die Fertigkeiten vervollkommen. Die Schüler müssen mit einem hohen Grad an Selbständigkeit den gesamten Experimentierprozeß von der Vorbereitung über die Durchführung bis zum Abschluß der Auswertung durchlaufen. Durch das Lösen der gestellten Aufgaben wird auch die Bedeutung der Experimente für den Erkenntnisprozeß erlebbar und damit das materialistische Weltbild der Schüler vertieft. Durch die Arbeit der Schüler in Gruppen werden sozialistische Verhaltensweisen gefördert, wie Verantwortungsbewußtsein, Hilfsbereitschaft, Rücksichtnahme, Uneigennützigkeit und Zielstrebigkeit. Es werden Charaktereigenschaften positiv geformt, wie Ehrlichkeit, Zuverlässigkeit, kritische Einschätzung der Leistung und Ordnungsliebe.

An die experimentelle Arbeit im Physikunterricht der Klasse 9 werden höhere Ansprüche gegenüber den bis zur Klasse 8 durchgeführten Schülerexperimenten gestellt.

Für jedes Experiment sind zwei Unterrichtsstunden vorgesehen. Die Schüler müssen im wesentlichen mit den Informationen der schriftlichen Anleitungen auskommen.

Für die gedankliche Vorbereitung sind sie weitgehend selbst verantwortlich, und sie müssen die nötigen Handlungen in größerem Umfange selbständig planen und ausführen sowie die Arbeitsteilung in der Gruppe organisieren.

Die Lösung der gestellten Aufgaben ist in der Regel nur über umfangreiche rechnerische und grafische Auswertungen zu finden.

### *Vorschläge zur Durchführung des Praktikums*

Im Lehrplan sind die Praktikumsexperimente nach inhaltlichen Gesichtspunkten in drei Aufgabenkomplexe mit je drei verschiedenen Experimenten eingeteilt. Der erste und der zweite Aufgabenkomplex bezieht sich auf den Stoff der Klasse 9, der dritte auf den Stoff der Klassen 6 bis 8.

Jedes der drei Praktikumsexperimente ist in einer Doppelstunde je Woche durchzuführen und auszuwerten. In den verbleibenden Stunden sind das Praktikum und die Praktikumsexperimente vorzubereiten und auszuwerten.

Zur Vorbereitung des Praktikums sollten die Praktikumshefte an die Schüler ausgegeben werden, verbunden mit dem Auftrag, zur Vorbereitung die Einleitung durchzuarbeiten. In

dieser Einleitung sind Hinweise enthalten über das allgemeine Verhalten im Praktikum, über Vorbereitung, Durchführung und Auswertung sowie zur Gestaltung des Protokolls. Die Schüler sollten weiterhin aufgefordert werden, den Abschnitt Vorbereitung des Experiments aus der ersten Aufgabengruppe durchzuarbeiten.

Die Verteilung der neun Experimente auf 12 Schülergruppen kann nach folgendem Organisationsplan vorgenommen werden:

Beispiel eines Organisationsplanes (für 12 Schülergruppen und den Einsatz aller neun Schülerexperimente)

Schülergruppe	Praktikumsexperiment je Doppelstunde		
	erstes	zweites	drittes
1	1/1	2/1	3/1
2	1/2	2/2	3/2
3	1/3	2/3	3/3
4	1/1	2/1	3/1
5	2/1	3/1	1/1
6	2/2	3/2	1/2
7	2/3	3/3	1/3
8	2/1	3/1	1/1
9	3/1	1/1	2/1
10	3/2	1/2	2/2
11	3/3	1/3	2/3
12	3/1	1/1	2/1

Schwerpunkte für die *Vorbereitung* der Experimente können sein:

- Bewußtmachen der gestellten Aufgaben,
- Kontrollieren der angefangenen Protokolle,
- Beantworten der Schülerfragen zur schriftlichen Anleitung,
- Erteilen von Hinweisen zur Experimentieranordnung.

Die *Durchführung* der Experimente erfolgt entsprechend den Anleitungen im Heft Praktikum Physik Kl. 9. Zu Beginn kontrolliert der Lehrer die vorbereiteten Protokolle. Dabei werden bereitzustellende Gleichungen, Schaltpläne, Anordnungsskizzen und Tabellen beurteilt und gegebenenfalls korrigiert. Danach bauen die Schüler die Experimentieranordnung auf. Treten darin Fehler auf, so erhalten die Schüler die Gelegenheit, ihre Anordnung zu überprüfen.

Für Form und Inhalt der Protokolle richten sich die Schüler nach dem Muster in der Einleitung zum Praktikumsheft.

Es empfiehlt sich, zu Beginn der nächsten Doppelstunde eine kurze Einschätzung der bisherigen Arbeit zu geben und Hinweise zu erteilen, wie noch bessere Resultate erreicht werden können.

*Schwerpunkte* für die Auswertung können sein:

- Einschätzung der Vorbereitung der Schüler auf das Experimentieren,
- Gestaltung der Protokolle,
- Einschätzung vom gesamten Ablauf des Praktikums,
- Analyse typischer Fehler bei der Durchführung und in den Protokollen,
- Erläuterung der Leistungsbewertung,
- Schülervorträge über das Lösen der ihnen gestellten Aufgaben und die dabei erzielten Ergebnisse.

Dazu könnte der Auftrag erteilt werden, Aufbau, Ausführung und Auswertung eines Experimentes oder die Untersuchung der Abhängigkeit einer Größe A von einer anderen Grö-

ße B oder das Bestimmen einer indirekt meßbaren Größe zu beschreiben. Es ist auch möglich, eine schriftliche Leistungskontrolle zum Praktikum vorzunehmen, in der z. B. Fragen zur theoretischen Grundlage der Experimente gestellt werden können. Zur *Leistungsermittlung* und *Leistungsbewertung* können folgende Bestandteile des Experimentierprozesses beurteilt werden:

Bestandteil	zu beurteilen sind
Aufbau	Richtigkeit, Funktionstüchtigkeit und Zweckmäßigkeit der Experimentieranordnung, Verlauf der Handlungen beim Aufbauen (Folgerichtigkeit, Selbständigkeit, Sicherheit, Zügigkeit)
Ausführung	Messung (Umgang mit den Meßgeräten und Bestimmung von Meßwerten unter den gegebenen Bedingungen). Verlauf der Handlungen (folgerichtig, selbständig, regelhaft, sicher, zügig, sorgfältig). Allgemeines Verhalten (Anteil am Erfolg, Disziplin, Einhaltung der Arbeits- und Brandschutzhinweise)
Protokoll	Theoretische Grundlagen, Skizze der Anordnung, Schaltplan, Gerätevorschlag Tabellen, Berechnungen (Gleichungen, Zahlenwerte, Einheiten), Grafische Darstellungen, Resultat (im Satz, Bezug zur gestellten Aufgabe) Vollständigkeit und Form („Kopf“, Gliederung, Überschriften, Teilantworten, äußere Form)
Gespräch oder schriftliche Kurzkontrolle	Antworten auf Fragen – zur Durchführung des Experimentes, – zur Theorie des Experimentes, – zur Verbindung mit dem Leben.

## *Empfehlungen zur Gestaltung der Praktikumsexperimente*

### *Gruppe 1 Elektrische Bauelemente und Geräte*

Durch die Experimente dieser Gruppe sollen die Schüler das Aufnehmen von Meßreihen festigen und ihre Kenntnisse auf die Wirkungsweise elektrischer Bauelemente und Geräte anwenden. Die drei Experimente unterscheiden sich in den experimentellen Fertigkeiten und in den inhaltlichen Anforderungen. Im Experiment P 1/1 werden von den Schülern Kenntnisse über elektrische Bauelemente verlangt, mit denen sie sich im Physikunterricht der Klassen 8 und 9 vertraut gemacht haben. Schwerpunkt in diesem Experiment ist das Aufnehmen von Meßreihen für *I-U*-Diagramme der elektrischen Bauelemente. Außerdem festigen sie das Interpretieren der Diagramme und das Berechnen von Widerständen. Das Experiment P 1/2 dient zur Festigung der Kenntnisse über den Transformator. Zu diesem Experiment sollen die Schüler die Experimentieranordnung selbständig entwickeln, die Geräte auswählen und den Schaltplan skizzieren. In der Auswertung interpretieren sie Diagramme über Zusammenhänge des Sekundärstromkreises, die ihnen aus dem Unterricht nicht bekannt sind.

Im Experiment P 1/3 bestimmen die Schüler den Wirkungsgrad eines Gleichstrommotors in Abhängigkeit von seiner Belastung. In diesem Experiment werden besonders experimentelle Fähigkeiten von den Schülern verlangt.

### *P 1/1 Art eines elektrischen Bauelementes*

Die Schüler messen von einem System mit einem unbekanntem Bauelement Eingabe- und Ausgabewerte. Die Eingabewerte bestehen aus Spannungswerten und die Ausgabewerte aus davon abhängigen, charakteristischen Stromstärken. Aus den Werten und deren grafischer Darstellung sollen die Schüler auf das unbekannte Bauelement schließen. Diese Methode der Erkenntnisgewinnung erhält in der Praxis immer mehr Bedeutung.

**Zu den Grundlagen.** Vorbereitend auf das Experiment müssen die Schüler wiederholen, welche Einflüsse die verschiedenen Bauelemente (technischer Widerstand, Diode, Glühlampe) auf das Verhalten der Stromstärke im Gleichstromkreis ausüben. Das richtige Skizzieren der  $I$ - $U$ -Diagramme der oben genannten Bauelemente ist eine wichtige Grundlage für die Auswertung der Meßreihen. Die Schüler sollen erkennen, daß beim technischen Widerstand die Stromstärke linear mit der Spannung wächst. Von der Diode ist ihnen das charakteristische  $I$ - $U$ -Diagramm in Durchlaßrichtung aus dem Unterricht bekannt. Der Aufbau und die Wirkungsweise der Diode wurden umfassend behandelt und werden an dieser Stelle noch einmal gefestigt. Auch die Kenntnisse über die physikalischen Eigenschaften der Glühlampe im Gleichstromkreis stehen aus dem Unterricht zur Verfügung. Mit Hilfe der Anwendungsaufgabe 2 aus der Vorbereitung sollen die Schüler an den ersten Teil des Experimentes herangeführt werden.

#### **Zu den Geräten und Hilfsmitteln**

1 Schülerstromversorgungsgerät

2 Polytest 1

4 Black-box

aus SEG „Elektrik“:

2 Grundbretter, 3-buchsig

1 Taster

1 Satz Verbindungsleitungen

1 Drahtdrehwiderstand, 50  $\Omega$ /25 W

unbekannte Bauelemente aus SEG „Elektrik“ und SEG „Halbleiter-Hochfrequenz“:

1 Diode mit Schutzwiderstand

1 Lampenfassung mit Glühlampe, 6 V/0,4 A oder 3,5 V/0,2 A

1 Widerstand, 1 k $\Omega$

1 Konstantendraht, etwa 8  $\Omega$

Die Bauelemente werden in den Black-box untergebracht und versiegelt (z. B. mit Ankerplast). Es hat sich als günstig erwiesen, jede Black-box zur Kontrolle mit einer Zahl zu kennzeichnen.

**Zur Durchführung und Auswertung.** Das Experiment ist so angelegt, daß der Lehrer nach dem Leistungsvermögen und der Selbständigkeit der Schüler festlegen kann, wieviele und welche Bauelemente bestimmt werden sollen. Insgesamt stehen 4 Black-box zur Verfügung. Im ersten Teil der Aufgabe stellen die Schüler eine bestimmte Spannung ein (z. B. Gleichstrom 3 V) und notieren, ob bei den beiden Polaritäten ein Strom fließt.

Polarität	Black-box			
	1.	2.	3.	4.
+ -	Stromfluß	Stromfluß	kein Stromfluß	Stromfluß
- +	Stromfluß	Stromfluß	Stromfluß	Stromfluß

Bei der Lösung der 2. Aufgabe können die  $I$ - $U$ -Diagramme folgendes Aussehen haben (Bild 13):

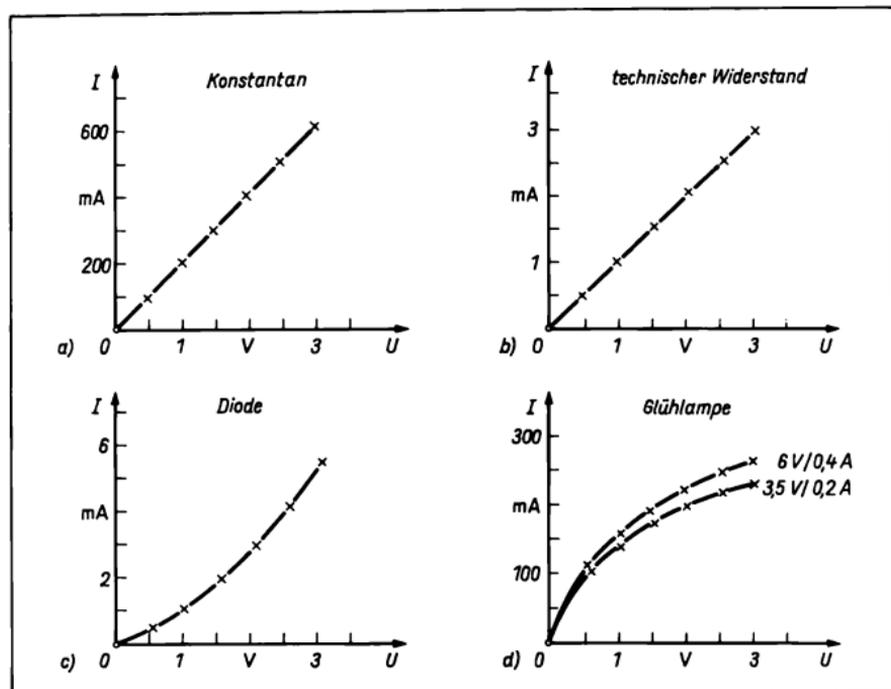


Bild 13 a)  $I$ - $U$ -Diagramm eines Konstantandrahtes  
 b)  $I$ - $U$ -Diagramm eines Widerstandes  
 c)  $I$ - $U$ -Diagramm einer Diode  
 d)  $I$ - $U$ -Diagramm einer Glühlampe

Aus dem Verlauf der Graphen und ihren Überlegungen in der Vorbereitung müßten die Schüler die Bauelemente erkennen. Der Graph der Diode unterscheidet sich durch den Einfluß des Vorwiderstandes etwas von dem Graphen, der aus dem Unterricht bekannt ist. Schwierigkeiten könnte es beim Erkennen der beiden technischen Widerstände mit unterschiedlichen elektrischen Widerstandswerten geben. Deshalb sollen sie in der Auswertung die Widerstandswerte berechnen. In der Zusatzaufgabe befassen sich die Schüler mit dem elektrischen Verhalten des Widerstandes der Glühlampe und der Diode.

## P 1/2 Belasteter Transformator

Mit diesem Experiment sollen die Schüler ihre Kenntnisse über die Zusammenhänge physikalischer Größen am Transformator festigen und erweitern. Die Untersuchungen werden im Sekundärstromkreis durchgeführt, um den Schülern den Einfluß der Belastung auf diesen Stromkreis zu zeigen.

**Zu den Grundlagen.** Durch die Vorbereitung reaktivieren die Schüler ihre Kenntnisse über den Aufbau und die Wirkungsweise eines Transformators. Sie unterscheiden den belasteten und den unbelasteten Sekundärkreis. Anhand der Beispiele (Zündspule, Schülerstromversorgungsgerät, ...) sollen die Schüler auf die praktische Bedeutung der Transformatoren aufmerksam gemacht werden. Die im Bild 14a skizzierte Schaltung ist von den Schülern zu entwickeln.

### Zu den Geräten und Hilfsmitteln

aus SEG „Elektrik“:

1 Schülerstromversorgungsgerät

2 Spulen, 500/250/250 Wdg.

1 I-, U-Kern, geblättert

1 Drahtdrehwiderstand, 50  $\Omega$ /25 W

1 Satz Verbindungsleitungen

2 Polytest 1

Millimeterpapier

1 Schere

1 Gummiring

**Zur Durchführung und Auswertung.** Die Stromstärke und die Spannung können von den Schülern gleichzeitig gemessen werden. Sie nehmen jede Meßreihe 3mal auf, um für die Stromstärke und für die Spannung den Mittelwert bilden zu können. Es soll ihnen deutlich gemacht werden, daß die gemessenen Werte Näherungswerte darstellen und Messungen deshalb zur Erhöhung der Genauigkeit mehrmals durchzuführen sind.

Folgende Diagramme hat das Experiment mit dem oben angegebenen Transformator ergeben (Bilder 14b, c):

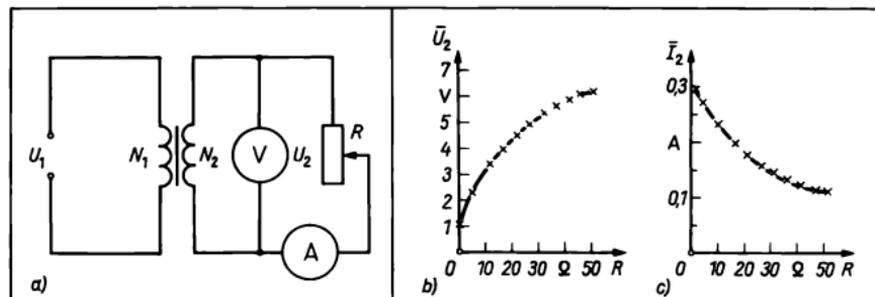


Bild 14 a) Schaltplan zur Aufgabe P 1/2

b)  $U_2$ -R-Diagramm eines belasteten Transformators

c)  $I_2$ -R-Diagramm eines belasteten Transformators

In der Zusatzaufgabe wenden die Schüler bereits bekannte Kenntnisse auf diesen speziellen Transformator an.

### P 1/3 Belasteter Gleichstrommotor

Den Schülern soll bewußt werden, daß der Wirkungsgrad eine charakteristische Größe für eine Maschine und ihren ökonomischen Einsatz darstellt.

Die 2. Aufgabe ist auf eine weitere Entwicklung konstruktiver Fertigkeiten der Schüler ausgerichtet. Wichtig ist dabei, eine Einheit zwischen den theoretischen Überlegungen (Lösungsideen, Begründungen) und der Überprüfung im Experiment zu realisieren.

**Zu den Grundlagen.** Die Schüler reaktivieren grundlegende Kenntnisse über Aufbau und Wirkungsweise eines Gleichstrommotors und erwerben sich selbständig neues Wissen über das Verhalten des vorgegebenen Motors bei Belastung. Ausgehend von der bekannten Beziehung  $\eta = \frac{E_{\text{nutz}}}{E_{\text{aufgew}}}$  sollen die Schüler die Gleichung  $\eta = \frac{F_G \cdot b}{U \cdot I \cdot t}$  herleiten.

Bei der Begründung der Teilschritte wird folgendes erwartet: Zum Anheben eines Körpers ist die mechanische Arbeit  $W_{\text{mech}} = F_G \cdot b$  notwendig. Dabei erhöht sich zugleich seine Energie um den Betrag  $E_{\text{nutz}} = F_G \cdot b$ . Erfolgt der Hebevorgang mit einem Elektromotor, dann muß die elektrische Arbeit  $W_{\text{el}} = U \cdot I \cdot t$  verrichtet werden. Diese Arbeit entspricht der aufgewendeten Energie.

$$\text{Mit } \eta = \frac{E_{\text{nutz}}}{W_{\text{aufgew}}} \text{ folgt } \eta = \frac{F_G \cdot b}{U \cdot I \cdot t}$$

Ein Teil der elektrischen Energie wird dabei in thermische Energie umgewandelt, so daß die aufgewandte Energie immer größer ist als die zum Heben benötigte. Deshalb gilt stets  $\eta < 1$ .

Bei der Aufgabe 2 sind u. a. folgende Lösungsideen möglich: Der Körper kann mit dem Motor auf einer geneigten Ebene, über eine lose Rolle oder über einen Flaschenzug auf die

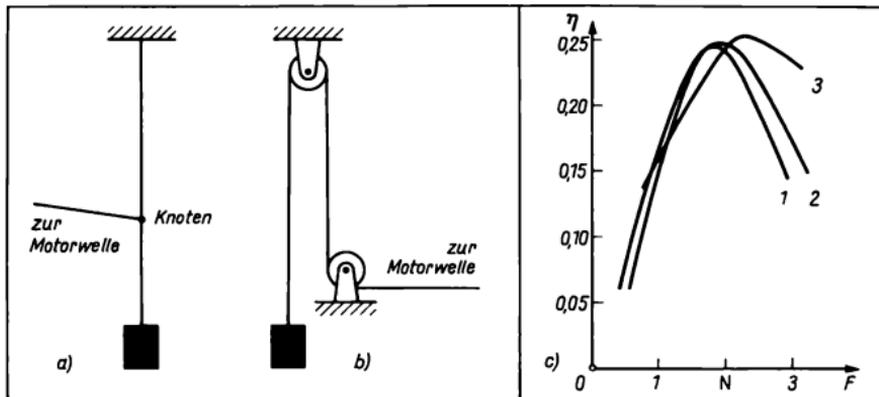


Bild 15 a) Variante zum Hochziehen des Körpers  
 b) Variante zur Experimentieranordnung  
 c)  $\eta$ - $F$ -Diagramm eines belasteten Gleichstrommotors

gewünschte Höhe gezogen werden. Eine Begründung wird mit Hilfe der „Goldenen Regel der Mechanik“ erwartet. Auch die in Bild 15a skizzierte Variante stellt einen möglichen Lösungsvorschlag dar.

#### Zu den Geräten und Hilfsmitteln:

aus SEG „Elektrik“:

1 Schülerstromversorgungsgerät

2 Polytest 1

aus Praktikumsausstattung:

1 Experimentiermotor

1 Handstoppuhr

aus SEG „Mechanik“ und Präzisionsstativmaterial:

1 Satz Hakenkörper

2 Rollen

Stativstäbe

Brett für geneigte Ebene

Rollen für Flaschenzug

**Zur Durchführung und Auswertung.** Die Experimentieranordnung kann vorgegeben oder von den Schülern selbst aufgebaut werden. Dabei sind zwei Varianten möglich: Entweder der Motor wird mit einer Tischklemme am Tisch befestigt und der Faden wird über zwei Rollen geführt (Bild 15b), oder der Motor wird am oberen Ende eines Stativstabes befestigt. Dann kann auf zusätzliche Rollen verzichtet werden. In beiden Fällen ist darauf zu achten, daß der Faden sich beim Aufwickeln auf die Antriebswelle gleichmäßig über die gesamte Welle verteilt, damit das Drehmoment annähernd konstant bleibt. Der Motor hat eine Betriebsspannung von 6 V. Diese läßt sich bei der entsprechenden Stromstärke nicht mit dem Schülerstromversorgungsgerät realisieren. Um den Versuchsaufbau einfach zu halten, sollte auf eine Potentiometerschaltung verzichtet werden. Empfohlen wird die Buchsenkombination am Schülerstromversorgungsgerät 8-12. Leistungsstarke Gruppen können die Messungen mit anderen Spannungen wiederholen.

Beispiel für Meßwerte und berechnete Größen für die Buchsenkombination 8-12 am Stromversorgungsgerät:

$U$ in V	$I$ in A	$t$ in s	$F$ in N	$h$ in m	$\eta$
3,2	0,34	7,4	0,5	1	0,062
3,4	0,32	7,5	1	1	0,123
3,4	0,31	7,1	1,5	1	0,201
3,4	0,32	7,8	2	1	0,236
3,2	0,39	10,6	2,5	1	0,189
3,2	0,46	16,0	3	1	0,127

In Bild 15c ist der Zusammenhang zwischen  $\eta$  und  $F$  im Diagramm dargestellt (1: – Buchsenkombination 8-12, 2: 3-8, 3: 2-8).

Die Schüler sollen erkennen:

- Der Wirkungsgrad ist von der Belastung abhängig und nimmt bei einer bestimmten Belastung einen Höchstwert ein.
- Mit Annäherung der angelegten Spannung an die Betriebsspannung wird der maximale Wirkungsgrad größer und es tritt der Höchstwert bei größerer Belastung auf (nur für leistungsstarke Gruppen).

Für die Aufgabe 2 sollen die Schüler unbedingt die Möglichkeit erhalten, ihre Ideen experimentell zu überprüfen. Dazu sind die entsprechenden Geräte bereitzustellen. Diese können sich schon am Arbeitsplatz befinden oder von den Schülern bei Bedarf abgefordert werden.

## Gruppe 2 Charakteristische Kennlinien elektrischer Bauelemente

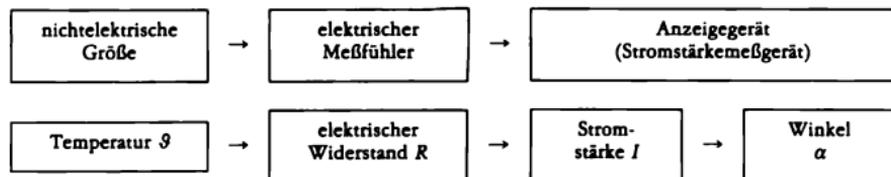
Bei der Bearbeitung der drei zur Auswahl stehenden Experimente befassen sich die Schüler mit einigen elektrischen Bauelementen und den entsprechenden charakteristischen Kennlinien. Die Experimente verlangen sichere Kenntnisse aus dem Stoffgebiet „Elektrische Leitungsvorgänge“.

Im Experiment P 2/1 sollen die Schüler von einem Heißleiter das  $I$ - $\vartheta$ -Diagramm aufnehmen. Unter den gleichen Experimentierbedingungen und mit Hilfe des Diagramms werden von weiteren Gefäßen mit der gleichen Flüssigkeit die Temperaturen bestimmt. Bei der Bearbeitung des Experimentes P 2/2 liegen die Schwerpunkte in der Aufnahme der Meßwerte für das  $I_C$ - $I_B$ -Diagramm eines Transistors für verschiedene Kollektor-Emitter-Spannungen und in der Auswertung des Diagramms für die Berechnung der Stromverstärkung dieses Transistors. Das Experiment P 2/3 stellt höhere Anforderungen an die Schüler. Sie sollen ihre Kenntnisse über 2 unterschiedliche elektrische Bauelemente, die im Unterricht einzeln behandelt wurden, auf die Reihenschaltung beider Bauelemente anwenden. Außerdem wird von ihnen verlangt, daß sie in demselben Stromkreis das Gesetz für den Gesamtwiderstand zweier in Reihe geschalteter technischer Widerstände überprüfen.

### P 2/1 $I$ - $\vartheta$ -Diagramm eines Heißleiters

Durch diesen Praktikumsauftrag erproben die Schüler eine wichtige technische Anwendung der Halbleiter. Sie bestimmen für einen Heißleiter die Abhängigkeit der Stromstärke von der Temperatur und wenden das  $I$ - $\vartheta$ -Diagramm zur Ermittlung unbekannter Temperaturen an.

**Zu den Grundlagen.** Die Schüler wiederholen grundlegende Kenntnisse über die Halbleiter. Sie wissen, daß der elektrische Widerstand von Halbleitern bei höherer Temperatur kleiner wird und können diese physikalische Erscheinung mit Hilfe der wanderungsfähigen Ladungsträger erklären. Der Heißleiter ist als ein spezieller Widerstand aus halbleitendem Material zu erkennen. Aus dem  $I$ - $\vartheta$ -Diagramm sollen die Schüler folgern, daß sich verschiedene Heißleiter unterschiedlich verhalten. Die Wahl des Heißleiters richtet sich nach der zu erfüllenden Aufgabe. In der Anwendungsaufgabe müßte der erste Heißleiter zugrunde-



gelegt werden, da bei diesem die Temperaturabweichung von dem Sollwert in dem vorgegebenen Bereich am deutlichsten meßbar ist. In diesem Experiment erfolgt die nachstehende Meßgrößenwandlung:

#### Zu den Geräten und Hilfsmitteln

aus SEG „Elektrik“:

1 Schülerstromversorgungsgerät

1 Drahtdrehwiderstand,  $50 \Omega/25 \text{ W}$

1 Satz Verbindungsleitungen

aus Praktikumsausstattung:

1 Heißleiter mit Steckbrett

aus SEG „Kalorik“ oder Praktikumsausstattung

1 Aluminiumtopf, 250 ml

1 Stativheizplatte mit Schuko-Zuleitung

1 Thermometer

1 Rührer

1 Abdeckhülse mit Schlitz

1 V-Fuß

Bechergläser mit destilliertem Wasser oder Maschinenöl

**Zur Durchführung und Auswertung.** Der Schaltplan sollte den Schülern vorgegeben werden, da eine stromrichtige Schaltung zur Aufnahme notwendig ist ( $I$  klein, damit Eigenwärmerung vernachlässigbar). Die Untersuchungen können mit destilliertem Wasser oder Maschinenöl durchgeführt werden. Steht kein destilliertes Wasser aus dem Chemiesortiment zur Verfügung, dann kann auch Leitungswasser mit Entsalzer verwendet werden. Um die Genauigkeit der Meßwerte zu erhöhen, könnte bei der Temperaturmessung folgendermaßen vorgegangen werden: Die Temperaturdifferenz sollte immer größer als 5 K sein. Dann nehmen die Schüler den Aluminiumtopf von der Heizplatte und rühren die Flüssigkeit um, bis sich die zu messende Temperatur eingestellt hat. Durch dieses Verfahren nimmt der Heißleiter annähernd die Temperatur der Flüssigkeit an. Haben die Schüler die Werte für das  $I$ - $\vartheta$ -Diagramm aufgenommen, dann gibt ihnen der Lehrer weitere Bechergläser mit der gleichen Flüssigkeit, aber unbekannter Temperatur. Die Schüler messen mit demselben Heißleiter und unter gleichen Experimentierbedingungen die Stromstärke und ermitteln mit Hilfe des  $I$ - $\vartheta$ -Diagramms die unbekanntenen Temperaturen.

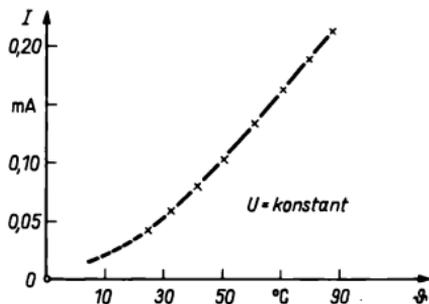


Bild 16  
 $I$ - $\vartheta$ -Diagramm eines Heißleiters  
Kaltwiderstand  $33 \text{ k}\Omega$   
(aus der Praktikumsausstattung)

Bei sehr leistungsstarken Gruppen kann der Lehrer den Schülern 2 verschiedene Heißleiter geben und die Aufgabe erweitern.

Die Schüler sollen den Heißleiter ermitteln, der sich auf Grund seiner Daten und damit des  $I$ - $\vartheta$ -Diagramms besser zur Bestimmung der unbekanntenen Temperaturen eignet.

## P 2/2 $I_C$ - $I_B$ -Diagramm eines Transistors

Mit der Durchführung dieses Experimentes sollen die Schüler das  $I_C$ - $I_B$ -Diagramm eines npn-Transistors aufnehmen und die Bedeutung des Diagramms für eine wichtige Transistorgröße, die Stromverstärkung, erkennen.

**Zu den Grundlagen.** In Vorbereitung des Experimentierens machen sich die Schüler mit dem prinzipiellen Aufbau eines npn-Transistors vertraut (Basis; Emitter, Kollektor). Außerdem müssen sie aus dem vorgegebenen Schaltplan die Emitterschaltung eines Transistors erkennen und angeben, daß bei größer werdender Basisstromstärke auch die Kollektorstromstärke größer wird. In dem Lesetext erfahren die Schüler einige Daten über die Stromverstärkung von Silizium-Transistoren. Mit der Anwendung werden die Schüler in der Auswertung konfrontiert. Die benötigten Geräte ermitteln sie mit Hilfe des vorgegebenen Schaltplanes. Der Tabellenkopf der selbständig aufgestellten Tabelle könnte folgendes Aussehen haben:

Nr.	$I_B$ in mA	$U_{CE1}$	$I_B$ in mA	$U_{CE2}$
		$I_C$ in mA		$I_C$ in mA
1				
⋮				
10				

### Zu den Geräten und Hilfsmitteln

aus Baukästen „Elektronik 5“ oder „Elektronik 6“

1 Schülerstromversorgungsgerät

1 Batteriehalter

2 Batterien R 20, 1,5 V

2 Polytest 1

aus SEG „Halbleiter“:

1 Transistor SC 236

aus SEG „Elektrik“:

1 Drahtdrehwiderstand, 50  $\Omega$ /25 W

1 Satz Verbindungsleitungen

**Zur Durchführung und Auswertung.** Um die Linearität der Graphen bei verschiedenen Werten von  $U_{CE}$  (1,5 V; 3 V) zu gewährleisten, muß der Maximalwert von  $I_C$  ( $I_C \leq 30$  mA) eingehalten werden. Wenn die Schüler das Experiment schnell und exakt durchführen, dann hat die Eigenerwärmung des Transistors kaum Einfluß auf die Meßwerte. Mit dem Transistor SC 236 wurden folgende Graphen im  $I_C$ - $I_B$ -Diagramm (Bild 17) erhalten:

Die Schüler folgern aus den Graphen, daß mit dem Basisstrom der Kollektorstrom gesteuert werden kann. Außerdem sollen sie erkennen, daß die Spannung  $U_{CE}$  einen Einfluß darauf hat, wie stark der Kollektorstrom durch den Basisstrom gesteuert wird. Mit Hilfe der er-

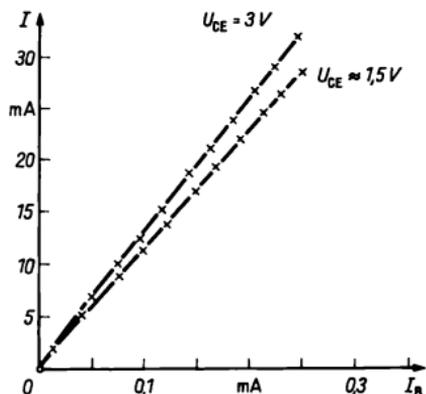


Bild 17  
 $I_C$ - $I_B$ -Diagramm eines Transistors

rechneten Stromverstärkung und der Tabelle aus der „Vorbereitung“ (5.) können die Schüler die Anwendungsaufgabe lösen. Je nach dem Leistungsvermögen der Schüler kann der Lehrer die Aufgabenstellung erweitern und mehrere verschiedene Transistoren zur Verfügung stellen.

### P 2/3 I-U-Diagramm einer Heißleiter-Glühlampen-Kombination

Die Schüler festigen ihre Kenntnisse über das elektrische Verhalten temperaturabhängiger Bauelemente, indem sie für die in Reihe geschalteten Bauelemente Glühlampe und Heißleiter die Meßwerte für ein I-U-Diagramm aufnehmen und die Graphen interpretieren. Außerdem nutzen sie die Reihenschaltung dieser beiden Bauelemente, um den Zusammenhang zwischen dem Gesamtwiderstand und den Teilwiderständen in diesem Stromkreis zu bestätigen.

**Zu den Grundlagen.** Die Schüler wiederholen die Kenntnisse über die Abhängigkeit der Stromstärke von der Temperatur bei einem Halbleiter und bei einem metallischen Leiter. Aus dem Verlauf der beiden Graphen im I-U-Diagramm bei konstanter Spannung sollen die Schüler erkennen, daß beim Halbleiter die Stromstärke mit wachsender Temperatur größer und beim metallischen Leiter kleiner wird. Daraus müssen sie die entsprechende Veränderung des elektrischen Widerstandes folgern. Um den Zusammenhang zwischen den beiden Teilwiderständen und dem Gesamtwiderstand in der „Vorbereitung“ (5.) angeben zu können, wiederholen die Schüler ihre Kenntnisse über den Reihen- und den Parallelstromkreis. Dabei reicht es in der Vorbereitung, wenn sie die Schaltpläne zeichnen und die Zusammenhänge als Gleichungen aufschreiben.

#### Zu den Geräten und Hilfsmitteln

- 1 Schülerstromversorgungsgerät  
aus SEG „Elektrik“:
- 4 Polytest 1
- 1 Drahtdrehwiderstand, 50  $\Omega$ /250 W
- 1 Lampenfassung mit Glühlampe (6,3 V/0,3 A)
- 1 Satz Verbindungsleitungen
- 1 Heißleiter, TNM 120

**Zur Durchführung und Auswertung.** Die Schüler müssen bei diesem Experiment besonders auf die richtige Wahl des Meßbereiches an den einzelnen Meßgeräten achten, um Fehler durch Umschalten auf einen größeren oder kleineren Meßbereich während einer Meßreihe zu verhindern. Außerdem sollte der Lehrer kontrollieren, ob der Hinweis auf die Umgebungstemperatur eingehalten wird. Dann kann das  $I$ - $U$ -Diagramm der beiden Bauelemente folgendermaßen aussehen (Bild 18):

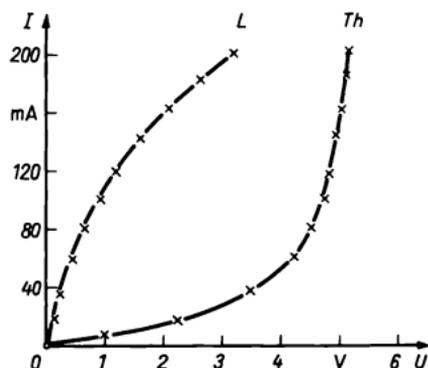


Bild 18  
Diagramm  
einer Heißleiter-Glühlampenkombination

Zur Berechnung der Widerstände eignen sich nur die Stromstärken zwischen 100 mA und 200 mA mit den entsprechenden Spannungsbeträgen. Im unteren Bereich macht sich der Einfluß der Meßgeräte (Güteklassenfehler) auf die Meßwerte bemerkbar.

### Gruppe 3 Optik, Mechanik und Thermodynamik

Die Experimente dieser Gruppe dienen zur Festigung wichtiger physikalischer Zusammenhänge aus der „Geometrischen Optik“ (Kl. 6), aus „Kräfte, Arbeit und Leistung in der Mechanik“ (Kl. 7) und aus der „Thermodynamik“ (Kl. 8). Das zweite und das dritte Experiment stellt jeweils an die Schüler hohe Anforderungen in der Vorbereitungsphase. Bei der Durchführung der Experimente werden von den Schülern annähernd die gleichen experimentellen Fertigkeiten verlangt. Für die Experimente P 3/1 und P 3/3 bauen die Schüler die Experimentieranordnungen nach eigenen Vorüberlegungen auf.

#### P 3/1 Reflexions- und Brechungsgesetz

Die Schüler bestätigen mit selbständig entworfenen Experimentieranordnungen das Reflexionsgesetz am ebenen Spiegel und das Brechungsgesetz an einer halbrunden Glasplatte beim Lichtübergang von Luft in Glas und von Glas in Luft.

**Zu den Grundlagen.** Die Schüler wiederholen Grundlagen der Geometrischen Optik (Lichtquellen, Lichtausbreitung). Sie haben sich wieder mit den oben genannten Gesetzmäßigkeiten vertraut zu machen und können die Geräte und Hilfsmittel angeben, die zur Be-

statigung notwendig sind. Für das Reflexionsgesetz müssen die Schüler die Einrichtungen zur Erzeugung eines schmalen Lichtbündels, den ebenen Spiegel und den Winkelmesser nennen. Zur Bestätigung des Brechungsgesetzes kommt an die Stelle des ebenen Spiegels die halbrunde Glasplatte. Zu jedem Gesetz fertigen die Schüler eine Skizze mit dem Verlauf eines ausgewählten Lichtbündels an.

#### Zu den Geräten und Hilfsmitteln

aus SEG „Ebene geometrische Optik“:

1 Schülerstromversorgungsgerät

1 Heftleuchte, 6 V/5 W

1 Einspalt-Dreispalt-Blende

1 Spiegelkombination

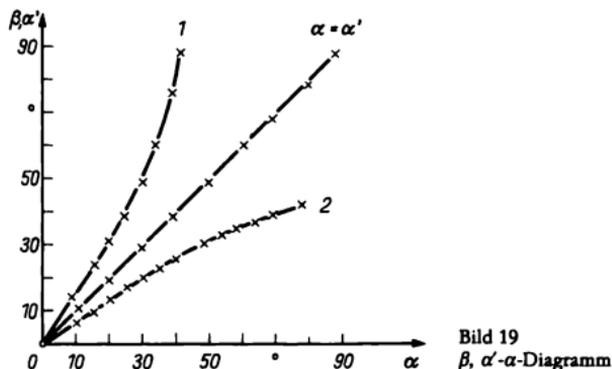
1 Plastscheibe mit Achsenkreuz und Winkelteilung, rund

1 Flachglaskorper, halbrund

aus SEG „Elektrik“:

1 Satz Verbindungsleitungen

**Zur Durchführung und Auswertung.** Die Experimente lassen sich leicht aufbauen und durchführen. Es erweist sich jedoch als günstig, den Optikplatz an einem der äußeren hinteren Plätze einzurichten, um den Raum eventuell an dieser Stelle abdunkeln zu können. Die Auswertung der Abhängigkeit des Brechungswinkels vom Einfallswinkel und dem brechenden Medium muß grafisch erfolgen, da die Schüler das Gesetz in Form einer Gleichung nicht kennen. Die grafische Darstellung (Bild 19) der Zusammenhänge  $\beta = f(\alpha)$  und  $\alpha' = f(\alpha)$  sieht folgendermaßen aus:



Die Schüler erkennen, daß der Brechungswinkel vom Einfallswinkel und dem brechenden Medium abhängt. Schon mit diesen einfachen Experimentieranordnungen lassen sich die beiden Gesetzmäßigkeiten bestätigen. In der Fehlerbetrachtung sollen die Schüler auf die Breite des Lichtbündels eingehen und daraus auf den Fehler beim Ablesen der Winkel hinweisen. Der Grenzwinkel  $\alpha_G$ , der in der Zusatzaufgabe bei der Brechung von Glas in Luft zu bestimmen ist, beträgt rund  $41^\circ$ .

## *P 3/2 Goldene Regel der Mechanik und Reibungskraft an der geneigten Ebene*

Die Schüler kennen geneigte Ebenen aus ihrer Umwelt. In diesem Experiment untersuchen sie, unter welchen Bedingungen die Goldene Regel an der geneigten Ebene anwendbar ist und welchen Einfluß die Art der Reibung beim Hochziehen verschiedener Körper hat. Außerdem sollen sie feststellen, ob zwischen der Höhe der Ebene und der Gleitreibungskraft ein Zusammenhang besteht.

**Zu den Grundlagen.** In Vorbereitung auf das Experiment sollen die Schüler ihre Kenntnisse über die Gesetze bei kraftumformenden Einrichtungen für die Kräfte bzw. für die Wege festigen. Sie müssen wissen, was die Goldene Regel beinhaltet. In Aufgabe 2 der Vorbereitung wenden die Schüler diese Kenntnisse an. Sie müssen erkennen, daß eine Kraftverringerung nur durch eine Verlängerung des Weges möglich ist ( $F_z = 50 \text{ N}$ ). In der Aufgabe 3 der Vorbereitung wird von den Schülern erwartet, daß sie die Ursache für die unterschiedlichen Zugkräfte an den beiden Körpern in der unterschiedlichen Reibung erkennen (Wagen: Rollreibung; Kiste: Gleitreibung; Rollreibung < Gleitreibung). Darauf können die Schüler in der Auswertung aufbauen.

### **Zu den Geräten und Hilfsmitteln**

aus SEG „Mechanik“:

- 1 Tischklemme
- 1 Achszapfen
- 1 Stativstab, 500 mm
- 1 Holzquader
- 2 Sätze Hakenkörper
- 1 Lineal
- 1 Federkraftmesser

aus Praktikumsausstattung:

- 1 Schiene mit Auffangvorrichtung
- 1 Wagen

**Zur Durchführung und Auswertung.** In den Aufträgen 1 und 2 müssen die Schüler die Gewichtskräfte annähernd ausgleichen, die an den beiden Körpern wirken. Dazu benutzen sie einen Federkraftmesser und die Hakenkörper. Beim Bestimmen der Zugkräfte, die am Wagen wirken, kann der Kraftmesser direkt am Wagen befestigt werden. Der Holzquader wird am günstigsten quer liegend die geneigte Ebene hochgezogen. Durch die beiden äußeren Ösen wird ein Band oder Faden gezogen und daran der Kraftmesser befestigt (bifilare Befestigung). Um genaue Meßwerte zu erhalten, ist es wichtig, daß die Schüler alle Bewegungen gleichförmig und mit annähernd gleicher Geschwindigkeit ausführen.

Damit die Schüler eine Aussage über die Gültigkeit der Goldenen Regel treffen können, müssen sie mit Hilfe der „Vorbereitung“ (2.) die Zugkräfte berechnen, die beim reibungslosen Hinaufziehen an den Körpern wirken würden. Beim Vergleichen der berechneten Zugkräfte mit den entsprechenden gemessenen Zugkräften am Wagen und am Holzquader müßten die Schüler erkennen, daß die Zugkräfte am Wagen annähernd mit den berechneten Zugkräften übereinstimmen. Bei der Bewegung des Holzquaders dagegen ergeben sich erhebliche Abweichungen. Die Goldene Regel kann also nur auf Bewegungen angewendet werden, die fast reibungslos verlaufen. Das trifft auf den Wagen zu, da die Rollreibung sehr gering ist. Die Gleitreibung des Holzquaders kann nicht vernachlässigt werden. In der 2. Aufgabe sollen die Schüler die Zugkräfte in Abhängigkeit von der Höhe der geneigten Ebene bei konstanter Länge betrachten. Das  $F_z$ - $b$ -Diagramm (Bild 20) könnte folgendermaßen aussehen:

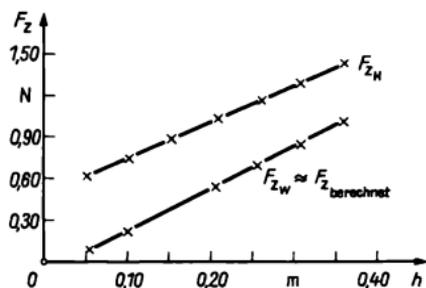


Bild 20  
 $F_z$ - $h$ -Diagramm eines Holzquaders  
 und eines Wagens

Eine Aussage über die Abhängigkeit des Betrages der Reibungskraft von der Höhe kann nur am Holzquader gemacht werden. Die Schüler erkennen, daß die Reibungskraft mit zunehmender Höhe geringer wird. Durch das Lösen der Zusatzaufgabe sollen die Schüler erkennen, daß bei Gültigkeit der Goldenen Regel an der geeigneten Ebene die Hubarbeiten an einem Körper mit den entsprechenden Zugarbeiten übereinstimmen.

### P 3/3 Spezifische Wärmekapazität von Flüssigkeiten

Die Schüler bestimmen über den Vergleich von aufgenommener und abgegebener Wärme die spezifische Wärmekapazität mehrerer unbekannter Flüssigkeiten. Das Experiment stellt an die Schüler hohe Anforderungen in der Vorbereitungsphase. Sie müssen selbständig aus einem Lesetext auf die Folge der Handlungsschritte schließen.

**Zu den Grundlagen.** In der Vorbereitung wiederholen die Schüler die Kenntnisse über die spezifische Wärmekapazität. Sie ermitteln mit Hilfe des Tafelwerkes, daß von den dort genannten Flüssigkeiten Wasser die größte spezifische Wärmekapazität hat und ziehen daraus Folgerungen für die praktische Bedeutung. Weiterhin festigen sie die Gleichung  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ . In der Aufgabe 4. der Vorbereitung üben die Schüler das Umstellen der obigen Gleichung nach der spezifischen Wärmekapazität  $c$ . Sie berechnen  $c$  und vermuten mit Hilfe des Tafelwerkes die unbekannte Flüssigkeit (Benzol). Aus dem Lesetext müssen die Schüler folgenden Zusammenhang erkennen, der für die Durchführung und die Auswertung des Experimentes große Bedeutung hat:

gegeben:  $c_{\text{Wasser}}$  (aus dem Tafelwerk),  $t$  (wird vorgegeben)  
 $m_{\text{Wasser}}$ ;  $m_x$  (durch Wägung bestimmt)  
 $\Delta T_{\text{Wasser}}$ ;  $\Delta T_x$  (aus der Messung berechnet)

gesucht:  $c_x$ , die unbekanntenen Flüssigkeiten

Lösung: 1.  $Q_{\text{Heizplatte}} = Q_{\text{Wasser}}$   
 $Q_{\text{Wasser}} = m_{\text{Wasser}} \cdot c_{\text{Wasser}} \cdot \Delta T_{\text{Wasser}}$   
 2.  $Q_{\text{Wasser}} = Q_x$  (Bedingungen: gleiche Zeit  $t$  der Erwärmung für 1. und 2.; gleiche Gefäße, gleiche Wärmequelle)

$$Q_{\text{Wasser}} = m_x \cdot c_x \cdot \Delta T_x$$

$$c_x = \frac{Q_{\text{Wasser}}}{m_x \cdot \Delta T_x}$$

### Zu den Geräten und Hilfsmitteln

aus SEG „Kalorik“ oder Praktikumsausstattung:

1 Stativheizplatte mit Schuko-Zuleitung

Bechergläser oder Aluminiumtopf

1 Thermometer

1 Rührer

1 Stoppuhr

aus SEG „Mechanik“:

1 V-Fuß

1 Schülerwaage

Flüssigkeiten aus dem Chemiesortiment für den Chemieunterricht

**Zur Durchführung und Auswertung.** Die Durchführung und Auswertung verlangt von den Schülern einen hohen Grad an Selbständigkeit und Disziplin. Die Schüler erkennen oft nicht, daß die Massen der unbekanntenen Flüssigkeiten nicht wie bei Wasser über das Volumen bestimmt werden können. Außerdem muß der Lehrer darauf achten, daß die Heizplatte vorgewärmt wird, um eine konstante Wärmeabgabe zu gewährleisten. Die spezifischen Wärmekapazitäten werden mit Hilfe der Überlegung aus der Vorbereitung berechnet. Je nach dem Leistungsvermögen der Schüler kann der Lehrer die Anzahl der Flüssigkeiten variieren. Der Schüler darf mit folgenden Flüssigkeiten auch im Physikunterricht experimentieren:

Flüssigkeiten	$\vartheta$ in °C	$c$ in $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Bemerkungen zu den Flüssigkeiten
Maschinenöl	25...35	1,99...2,01	feuergefährlich (Motorenöl AII)
Glycerin (Glyzerol)	20	2,39	keine
Heptan	20	1,38	feuergefährlich AI
Octan	20	2,20	feuergefährlich AII
Wasser + Eosin (rote Tinte)	20	4,20	keine

aus „Verfügungen und Mitteilungen“ Nr. 2/1984, S. 23 vom 19. März 1984 und die Korrektur ebenda Nr. 8 vom 13. Dezember 1984

Aus Sicherheitsgründen darf als Wärmequelle nur die Stativheizplatte verwendet werden und im Raum darf keine offene Flamme sein. Die Schüler können aus denselben Gründen die Bechergläser mit den Flüssigkeiten auch in ein Gefäß mit Sand oder Öl stellen und diese Gefäße auf der Heizplatte erwärmen. Die spezifischen Wärmekapazitäten müßte der Lehrer den Schülern geben (z. B. in Form einer Liste), da nur einige Flüssigkeiten im Tafelwerk erfaßt sind. In der Zusatzaufgabe sollen die Schüler auf die Wärmeabgabe durch die Flüssigkeit an die Umgebung eingehen (z. B. unterschiedlicher Füllstand bedeutet unterschiedliche Wärmeabgabe; abgeschlossenes Thermogefäß günstiger; ...).

**Stoffeinheit Kinematik**

17 Stunden

*Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Die Schüler erkennen in dieser Stoffeinheit, wie mit Mitteln der Mathematik Zusammenhänge zwischen den physikalischen Größen Weg, Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung für gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen durch *Gesetze* exakt ausgedrückt werden.

Die Schüler lernen, die Gesetze der Kinematik beim Beschreiben und Erklären der Bewegungen von Körpern sowie beim Berechnen physikalischer Größen anzuwenden. Sie erkennen, daß diese Gesetze für *idealisierte Bewegungen* (gleichförmige bzw. gleichmäßig beschleunigte Bewegungen) exakt gelten, jedoch auch Eigenschaften bestimmter realer Bewegungen genau genug widerspiegeln. Das zeigt sich darin, daß die Anwendung dieser Gesetze zu Ergebnissen führt, die mit der Praxis gut übereinstimmen. Im Unterricht werden die Gesetze der mechanischen Bewegungen nach dem Betrag der Geschwindigkeit systematisiert und auf reale Bewegungen, die auf beliebiger Bahn verlaufen, angewendet. Die Schüler werden dazu angehalten, vor Anwendung der Gesetze der Kinematik stets zu prüfen, ob die realen Bewegungen die Bedingungen der idealisierten Bewegungen näherungsweise erfüllen (konstante Geschwindigkeit oder konstante Beschleunigung).

Mit der Aneignung von Wissen und Können, für bestimmte Bewegungen geltende Gesetze exakt zu formulieren, und diese Gesetze bei Berechnungen anzuwenden, erweitern und vertiefen die Schüler ihre Einsichten über die *Rolle der Mathematik* als Mittel zur Beschreibung, Erklärung und Voraussage von Vorgängen sowie zur Berechnung physikalischer Größen.

Der Begriff *Bewegung eines Körpers* wird als Ortsveränderung relativ zu einem anderen Körper definiert und vom Begriff *Ruhe eines Körpers* abgegrenzt. Beispiele für Bewegungen werden unter Beachtung der *Relativität der Bewegung* erläutert. Dabei stehen solche Bewegungen im Mittelpunkt, bei denen der Körper als *Massepunkt* betrachtet werden kann. Das wird nicht in jedem Fall ausdrücklich betont, sondern meist verabredungsgemäß vorausgesetzt. Bei der Erarbeitung der Grundaussagen des Modells Massepunkt sollen die Schüler jedoch auch Beispiele für Bewegungen analysieren, bei denen dieses Modell nicht anwendbar ist.

An Beispielen ist den Schülern zu erläutern, daß gleiche Bewegungen in verschiedenen *Bezugssystemen* beschrieben werden können (z. B. geometrische und heliozentrische Beschreibung der Planetenbewegung). Der Begriff Bezugssystem wird jedoch nicht verwendet. Die Schüler sollen lediglich an Hand von Beispielen diskutieren, welcher Bezugskörper zur Be-

schreibung von Bewegungen zweckmäßig ausgewählt wird. Im allgemeinen werden Bewegungen, die in dieser Stoffeinheit genauer betrachtet werden, auf die Erde oder auf einen fest mit ihr verbundenen Körper bezogen. Dies wird verabredet und nicht für jede Bewegung neu diskutiert.

Wissen der Schüler aus Klasse 6 wird bei der Behandlung der qualitativen und quantitativen Merkmale der *Geschwindigkeit* wiederholt und erweitert. Zwischen Durchschnittsgeschwindigkeit und Augenblicksgeschwindigkeit wird sowohl in den qualitativen Begriffsmerkmalen als auch bei der Definition mit Hilfe von Gleichungen unterschieden. Es ist herauszuarbeiten, daß die näherungsweise Berechnung der Augenblicksgeschwindigkeit dann möglich ist, wenn das Zeitintervall und damit der in diesem zurückgelegte Weg sehr klein ist. Grenzwertbetrachtungen, bei denen das Zeitintervall gegen Null geht, sollen nur angedeutet werden.

Eine Erweiterung des Wissens über die Geschwindigkeit aus Klasse 6 erfolgt auch dadurch, daß die Geschwindigkeit als gerichtete Größe charakterisiert wird. Auf die Befähigung der Schüler zur Darstellung von Geschwindigkeiten mit maßstabgerechten Pfeilen und auf die Addition von Geschwindigkeiten mit Hilfe von Parallelogrammen wird verzichtet.

Die *gleichförmige Kreisbewegung* wird als Bewegung eines Körpers mit konstantem Betrag der Geschwindigkeit behandelt. Es wird herausgearbeitet, daß für Bewegungen von Körpern mit konstantem Betrag der Geschwindigkeit unabhängig von der Bahnform das gleiche Weg-Zeit-Gesetz gilt. In der Stoffeinheit Dynamik erfolgt später eine genauere Betrachtung der gleichförmigen Kreisbewegung als beschleunigte Bewegung.

Bei der Einführung der physikalischen Größe *Beschleunigung* werden zunächst die qualitativen Merkmale erarbeitet. Quantitative Betrachtungen erfolgen nur für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung aus dem Stillstand und für die gleichmäßig verzögerte Bewegung bis zum Stillstand.

Auf die Beschleunigung als gerichtete Größe kann im Zusammenhang mit verzögerten Bewegungen (negative Beschleunigung), zweckmäßiger jedoch bei der Gegenüberstellung von realen Fallbewegungen und dem idealisierten freien Fall von Körpern (entgegengesetzte Richtungen der Fallbeschleunigung und der Bremsverzögerung infolge der Widerstandskraft) hingewiesen werden.

Bei der Definition der Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung mit Hilfe von Gleichungen ist darauf einzugehen, wie die vorher im Unterricht erarbeiteten qualitativen Merkmale dieser Größen durch die Gleichungen ausgedrückt werden. Auch bei der Interpretation von Weg-Zeit- und Geschwindigkeits-Zeit-Diagrammen ist auf die zweckmäßige Definition der Größen Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung mit Hilfe der entsprechenden Gleichungen hinzuweisen. Die Schüler sollen erkennen, welche physikalische Bedeutung der Anstieg eines Graphen im Diagramm hat.

Zur Erarbeitung der *Gesetze der Kinematik* wird auf *theoretische Überlegungen* orientiert. Das Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung und das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung sowie die Bedingungen für diese beiden Bewegungen sind unmittelbar mit den Definitionen der Größen Geschwindigkeit bzw. Beschleunigung zu verbinden. Das Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung kann durch Anwendung eines mathematischen Verfahrens erarbeitet werden, bei dem die Schüler erfahren, daß dem Flächeninhalt unter dem Graphen eine physikalische Bedeutung zukommt.

Nach der theoretischen Erarbeitung der einzelnen Gesetze der Kinematik werden jeweils *Experimente* durchgeführt, um die Zusammenhänge zwischen den Größen Weg, Zeit, Geschwindigkeit und Beschleunigung durch Messungen zu bestätigen. Dieses Vorgehen ist aus methodischer Sicht vorteilhaft. Bei den Schülern darf aber nicht der Eindruck entstehen, daß jede aus gesicherten Aussagen auf theoretischem Wege erarbeitete Erkenntnis einer experimentellen Überprüfung bedarf.

Experimente werden in dieser Stoffeinheit des weiteren durchgeführt, um den Schülern Zielorientierungen zu geben, Problemstellungen zu verdeutlichen und zu zeigen, wie eine physikalische Konstante (Fallbeschleunigung) bestimmt werden kann.

Bei Experimenten werden *Fehlerbetrachtungen* in der Form durchgeführt, daß der Einfluß der Fehler der Meßgeräte, der Fehler durch die Experimentieranordnung und der persönlichen Fehler auf die Ergebnisse eingeschätzt wird. Insbesondere Meßfehler bei Zeitmessungen mit der Zentraluhr beeinflussen in starkem Maße die Ergebnisse der Experimente. Gegebenenfalls sind deshalb *Mittelwerte* gemessener Zeiten zu bilden. Umlaufzeiten sind aus Zeiten, die für mehrere Umläufe gemessen wurden, zu bestimmen. Die Schüler sind immer wieder anzuhalten, die Ergebnisse von Experimenten und Aufgaben mit *sinnvoller, dem physikalischen Sachverhalt entsprechender Genauigkeit* anzugeben.

Bei der Erarbeitung der Gesetze der Kinematik ist den Schülern zu erläutern, daß die mit diesen Gesetzen erfaßten physikalischen Zusammenhänge der Größen auf verschiedene Art (Wertetabelle, Gleichung, Diagramm) ausgedrückt werden können. Entsprechende *Diagramme* von Bewegungen sind immer wieder im Zusammenhang mit den Gesetzen darzustellen und zu interpretieren. Die Analyse der in den Gesetzen ausgedrückten physikalischen Zusammenhänge ist ein Schwerpunkt der Arbeit mit den Gesetzen.

Beim *Interpretieren von Diagrammen* ist in dieser Stoffeinheit ähnlich wie bei der Behandlung der Elektrizitätslehre zu verfahren. Für das *Interpretieren von Gleichungen*, das von Anfang an Gegenstand des Physikunterrichts ist, und für das die Schüler bis Klasse 8 durch Fragen angeleitet wurden, wird am Beispiel des Weg-Zeit-Gesetzes der gleichförmigen Bewegung im Lehrbuch eine Anleitung für die zusammenhängende Interpretation gegeben. Bei der Interpretation dieses und weiterer Gesetze sollen stets praktisch wichtige Fälle in den Mittelpunkt des Unterrichts gerückt und nicht alle denkbaren Fälle erörtert werden. Mit der Behandlung eines zweckmäßigen Vorgehens beim Interpretieren physikalischer Großgleichungen wird der im Physikunterricht in Klasse 7 begonnene Weg fortgesetzt, den Schülern das Vorgehen bei wesentlichen Arbeitsweisen der Physik bewußt zu machen.

Beim *Lösen von Aufgaben* ist ein ausgewogenes Verhältnis von qualitativen, einfachen quantitativen und komplexen quantitativen Aufgaben – auch mit technischem Inhalt – anzustreben. Beim Aufstellen des Lösungsplanes sollen die Schüler jeweils unterscheiden, ob die Aufgabe

- mit einer Gleichung, in die die Größen sofort eingesetzt werden,
  - mit einer Gleichung, die vor dem Einsetzen der Größen nach der gesuchten Größe umzustellen ist, oder
  - mit zwei Gleichungen, die ineinander einzusetzen sind,
- zu lösen ist. Es ist auch über die Reihenfolge der Berechnung bei mehreren gesuchten Größen zu entscheiden. Umrechnungen von Zahlenwerten bei notwendigen Änderungen der Einheiten sind von den Schülern so vorzunehmen (z. B. vor dem Einsetzen der Größen in die Gleichung), daß Rechenfehler eingeschränkt werden. Bei der Lösungsdiskussion sollen die Schüler einschätzen, wie sinnvoll die berechneten Ergebnisse sind. Bei nicht sinnvollem Ergebnis sollen sie beurteilen, ob die Bedingungen für die Anwendung der Gesetze erfüllt waren oder ob Rechenfehler gemacht worden sind.

Die bei der Erarbeitung und Anwendung von physikalischen Gesetzen bestehenden Möglichkeiten der *weltanschaulichen Bildung und Erziehung* sind intensiv zu nutzen. Die Schüler sollen zu vertieften *weltanschaulichen Einsichten* darüber gelangen, daß mit Hilfe der Mathematik Erkenntnisse über Vorgänge in der Natur in Form von Gesetzen exakt dargestellt werden können, und daß es die Gesetze ermöglichen, Vorgänge in Natur und Technik zu erklären sowie ihren Verlauf vorherzusehen. Indem mit Hilfe der Gesetze der Kinematik physikalische Größen berechnet werden, die mechanische Bewegungen in Körpern kennzeichnen, wird ein Beleg für die Leistungsfähigkeit der Mathematik in Natur und Technik erbracht.

Es ist auf Leben und Werk Galileo Galileis, auf seine Bedeutung für die Entwicklung der Physik als experimentelle Naturwissenschaft und auf seine Rolle in den weltanschaulichen Auseinandersetzungen seiner Zeit einzugehen.

Möglichkeiten zur Verkehrserziehung sind intensiv zu nutzen. Auf die Anwendung physikalischer Erkenntnisse in der Landesverteidigung (Ballistik) und im Sport sollen die Schüler an Beispielen aus der Kinematik hingewiesen werden.

In der Stoffeinheit Kinematik sind die *Schwerpunkte im Wissen und Können*:

- Merkmale der Größen Durchschnitts-, Augenblicksgeschwindigkeit und Beschleunigung sowie Gleichungen (einschl. Bedingungen) für die Berechnung dieser Größen;
- Merkmale, Gesetze und Diagramme der gleichförmigen und der gleichmäßig beschleunigten Bewegung;
- Interpretieren der Definitionsgleichungen der Geschwindigkeit bzw. der Beschleunigung sowie der Gesetze der Kinematik;
- Interpretieren und Zeichnen von Weg-Zeit-, Geschwindigkeit-Zeit- und Beschleunigung-Zeit-Diagrammen;
- Anwenden der Gesetze der Kinematik zum Erklären und Voraussagen von Bewegungen von Körpern sowie zum Berechnen physikalischer Größen.

Diese Schwerpunkte sollen auch im Mittelpunkt aller Maßnahmen zur Festigung des grundlegenden Wissens und Könnens stehen und somit auch Gegenstand der *Leistungskontrolle* in der Stoffeinheit sein. Für Leistungskontrollen werden folgende Aufgaben empfohlen:

### **I Zusammengesetzte Bewegungen**

1. Erläutern Sie ein Beispiel für eine zusammengesetzte Bewegung, die Sie an einer Maschine beobachtet haben! Vergleichen Sie die Einzelbewegungen mit der resultierenden Bewegung bezüglich Betrag und Richtung der Geschwindigkeit!
2. Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen Wurfweite, Abwurfwinkel und Anfangsgeschwindigkeit beim Kugelstoßen! Betrachten Sie dabei die Bewegung der Kugel als schrägen Wurf!

### **II Berechnen physikalischer Größen**

1. Ein Kfz muß wegen einer Verkehrssituation plötzlich gebremst werden. Seine Geschwindigkeit beträgt vor dem Bremsen  $62 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ . Der Bremsvorgang wird als gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit einer Verzögerung von  $5,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  betrachtet. Die Reaktionszeit des Fahrzeugführers beträgt  $1,2 \text{ s}$ . Wie lang ist der Weg bis zum Stillstand?
2. Berechnen Sie für einen frei fallenden Körper den Fallweg und die Fallgeschwindigkeit nach  $3,6 \text{ s}$ !
3. Mit welcher Geschwindigkeit (in  $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ ) verlassen die Schleifspäne die Kreisbahn, wenn die Schleifscheibe eine Umlaufzeit von  $0,025 \text{ s}$  und einen Radius von  $95 \text{ mm}$  hat? Nennen sie Arbeitsschutzmaßnahmen, die beim Schleifen einzuhalten sind!

### **III Diagramme von Bewegungen**

1. Zeichnen Sie das  $v-t$ -Diagramm und das  $s-t$ -Diagramm für die ersten  $5 \text{ s}$  des freien Falls eines Körpers!
2. Skizzieren Sie das  $v-t$ -Diagramm für die Bewegung eines Fahrzeuges im Straßenverkehr beim Überqueren einer Kreuzung mit Unterordnung (Stoppstraße)! Kennzeichnen Sie im Diagramm Anhalten und Anfahren des Fahrzeuges!
3. Nennen Sie zwei Beispiele für Bewegungen! Skizzieren Sie für diese Bewegungen die  $s-t$ -Diagramme, und vergleichen Sie die Graphen!

#### IV Erläutern von Vorgängen und Begriffen

1. Erläutern Sie, wie man die Höhe einer Brücke über einen Fluß annähernd ermitteln kann, wenn man eine Stoppuhr besitzt und die Fallbewegung eines Körpers von der Brücke ins Wasser beobachten kann? Wo liegen Fehlerquellen? Warum nimmt insbesondere die Genauigkeit der Höhenbestimmung ab, je höher die Brücke ist?
2. Erläutern Sie den Unterschied zwischen der Bewegung eines Fallschirmspringers und dem freien Fall eines Körpers!
3. Erläutern Sie folgende Begriffe:  
Relativität der Bewegung, Modell Massepunkt, Beschleunigung, Ballistische Bahn.

#### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktiveres Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<b>Stoffabschnitt Mechanische Bewegungen (3 Stunden)</b>		
Relativität der Bewegung und Modell Massepunkt 1 Std.	Bewegungen, Bezugskörper (Ph 6) Bewegungen von Erde und Mond (Ph 6, Geo 8)	Spielzeugfahrzeug Brett Tellurium
Physikalische Größe Geschwindigkeit (Augenblicksgeschwindigkeit, gerichtete Größe) 2 Std.	Physikalische Bedeutung, Formelzeichen, Einheiten, Gleichung zur Berechnung der Geschwindigkeit (Ph 6) Darstellen von Kräften mit Pfeilen (Ph 7)	Fahrzeughochometer Fahrtenschreiberdiagramm Folien zur Geschwindigkeit (S)
<b>Stoffabschnitt Bewegungen mit konstantem Betrag der Geschwindigkeit (3 Stunden)</b>		
Weg-Zeit-Gesetz Weg-Zeit- und Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm Bahngeschwindigkeit bei gleichförmiger Kreisbewegung Interpretieren von Gleichungen 3 Std.	Gleichförmige Bewegung (Ph 6) Anstieg bei linearen Funktionen (Ma 8) Kreis, Kreisumfang (Ma 7) Rotierende Maschinenteile (PA) Untersuchen von Zusammenhängen zwischen physikalischen Größen (Ph 7, 8) Interpretieren von Diagrammen (Ph 9)	Drehscheibe Knetmasse Drehbar gelagerte Papierrolle Modelleisenbahn
<b>Stoffabschnitt Bewegungen mit veränderlichem Betrag der Geschwindigkeit (11 Stunden)</b>		
Physikalische Größe Beschleunigung 1 Std.	Beschleunigte und verzögerte Bewegung (Ph 6) Geschwindigkeit (Ph 9)	Endloses Band Reifenapparat Luftkissenbahn

<p>Gleichmäßig beschleunigte Bewegung Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz und Weg-Zeit-Gesetz (Gleichungen und Diagramme) Freier Fall</p> <p style="text-align: right;">5 Std.</p>	<p>Mittelwert (Ma 5) Flächeninhalt des Dreiecks (Ma 6) Anstieg (Ma 8) Quadratische Funktion (Ma 9) Wissenschaft im Mittelalter (Ge 6) Bestimmen physikalischer Konstanten (Ph 8) Gesetze der gleichförmigen Bewegung (Ph 9) Interpretieren von Gleichungen und Diagrammen (Ph 9)</p>	<p>BM 1 und Demomeßgerät DE: Bestätigen der Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung DE: Bestimmen der Fallbeschleunigung Schülervortrag: Leben und Werk von Galilei Schülerauftrag: Anfertigen einer Fallschnur</p>
<p><i>Variante A</i> Festigung und Kontrolle</p> <p style="text-align: right;">3 Std.</p> <p>Überlagerung von Bewegungen</p> <p style="text-align: right;">2 Std.</p>	<p>Gesetze und Größen der Kinematik (Ph 9) Interpretieren von Gleichungen und Diagrammen (Ph 9) Sinnvolle Genauigkeit (Ma 6) Freier Fall (Ph 9) Darstellung der Geschwindigkeit mit Pfeilen (Ph 9) Wurf- und Sprungübungen (KE) Zielübungen, Visiereinstellung beim Luftgewehr (WU)</p>	<p>Folie mit <math>s-t</math>-, <math>v-t</math>- und <math>a-t</math>-Diagrammen (S)</p> <p>Wurfgerät Schlauch mit Spritze und pneumatischer Wanne Kleiner Luftstromerzeuger</p>
<p><i>Variante B</i> Überlagerung von Bewegungen</p> <p style="text-align: right;">2 Std.</p> <p>Festigung und Kontrolle</p> <p style="text-align: right;">3 Std.</p>	<p>wie Variante A</p> <p>wie Variante A</p>	<p>wie Variante A</p> <p>wie Variante A</p>

## Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten

### Relativität der Bewegung und Modell Massepunkt

1 Stunde

In der ersten Stunde des Stoffgebiets Mechanik erfolgt nach einer ersten Unterscheidung zwischen Kinematik und Dynamik die Definition des Begriffs *Mechanische Bewegung* eines Körpers. Das Modell *Massepunkt* zur Beschreibung der Bewegung eines Körpers wird eingeführt.

## Ziele

Die Schüler

- wissen, unter welchen Gesichtspunkten in der Kinematik und Dynamik Bewegungen von Körpern untersucht werden;
- können Bewegungen von Körpern unter Beachtung der Relativität beschreiben;
- kennen die Merkmale des Modells Massepunkt und können Beispiele seiner Anwendung erläutern.

## Unterrichtsmittel

Langsamfahrendes Spielzeugfahrzeug (S)

Universal-Experimentiermotor

Tellurium (aus Astronomie)

Fo: Mechanische Bewegung (S) (Bild 21)

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung in die Stoffeinheit.** Als Grundlage für die Einführung in die Mechanik kann der Einführungsabschnitt LB, S. 92, genutzt werden. Erläuterungen der Begriffe Kinematik und Dynamik sollen mit Hilfe von Bewegungen erfolgen, die die Schüler aus Klasse 6 und aus ihrem Erfahrungsbereich kennen. Darüber hinaus kann im Zusammenhang mit Hinweisen auf Bewegungen von Körpern des Sonnensystems (einschließlich von Demonstrationen mit dem Tellurium) eine Motivierung der Schüler für die Mechanik erreicht werden. Die historische Entwicklung der Kenntnisse über das Sonnensystem wird in Astronomie Klasse 10 behandelt. Im Physikunterricht der Klasse 9 genügt es deshalb, wenn unter Bezugnahme auf das geozentrische und auf das heliozentrische Weltbild zielorientierend darauf verwiesen wird, daß für die Beschreibung von Bewegungen die Auswahl eines geeigneten Bezugskörpers notwendig ist.

**Relativität der Bewegung.** Die Schüler sollen Bewegungen von Körpern beobachten und beschreiben und dabei zweckmäßige Bezugskörper auswählen. Eine Problemdiskussion zur Aussage „Eine prachrvolle Landschaft zog am Abteifenster vorbei“ kann den Stundenabschnitt wirkungsvoll einleiten.

Zur Unterscheidung der Begriffe Ruhe und Bewegung eines Körpers wird folgendes Experiment mit einem Spielzeugfahrzeug (z. B. Raupenfahrzeug) empfohlen:

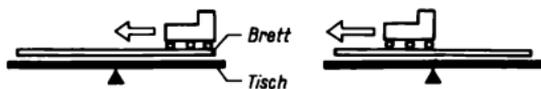
1. Fahrzeug bewegt sich auf ruhendem Brett.
2. Das Brett wird über den Tisch gezogen. Auf dem Brett bewegt sich gleichzeitig das Fahrzeug entgegengesetzt zum Brett. Die Geschwindigkeiten sind so abzustimmen, daß das Fahrzeug gegenüber dem Tisch in Ruhe ist.

Auf der Folie (Bild 21) sind die im Experiment demonstrierten Vorgänge modellhaft erfaßt. Das Folienbild ist also Bestandteil einer im Unterricht zu durchlaufenden Abstraktionsreihe.

Den Schülern muß bewußt werden, daß für den gleichen Vorgang zwei unterschiedliche Aussagen möglich und richtig sind. Bei der anschließenden Diskussion von Praxisbeispielen wird mit den Schülern vereinbart, daß im allgemeinen die Bewegungen von Körpern auf einen mit der Erde fest verbundenen Körper bezogen werden, wenn kein anderer Bezugskörper ausdrücklich genannt wird.

Zur vertiefenden Übung sind die Aufg. 1, 2, 3, LB, S. 93, geeignet.

### Mechanische Bewegung



Fahrzeug gegenüber Brett und Tisch in Bewegung



Fahrzeug gegenüber Brett in Bewegung

Fahrzeug gegenüber Tisch in Ruhe

Bild 21  
Mechanische Bewegung  
(Folie)

**Modell Massepunkt.** Zur Erarbeitung kann LB, S. 94, genutzt werden. Es wird empfohlen, den Schülern für die Arbeit mit dem LB Fragen zu stellen, die aus den Zielen der Stunde abgeleitet werden können (z. B. Welche Merkmale hat das Modell Massepunkt? Unter welchen Bedingungen ist es möglich, bei der Beschreibung der Bewegung eines Körpers diesen durch einen Massepunkt zu ersetzen? Erläutern Sie Beispiele, bei denen die Bewegung eines Körpers mit Hilfe eines Massepunktes beschrieben werden kann. Erläutern Sie Beispiele für Bewegungen, bei denen Form und Volumen der Körper beachtet bzw. nicht beachtet werden müssen!)

Erste Anwendungen des Modells Massepunkt und auch Grenzen seiner Anwendbarkeit werden an konkreten Beispielen diskutiert (z. B. Auto fährt durch eine Kurve, Innenräder legen kürzeren Weg zurück). Im weiteren Unterricht wird das Modell Massepunkt z. B. bei Wurf- und Kreisbewegungen aufgegriffen und gefestigt. Bei der Anfertigung von Bahnskizzen ist der Hinweis auf die vernachlässigten Körpermerkmale zu geben bzw. zu fordern. Zur Vertiefung ist Aufg. 1, LB, S. 95, geeignet.

**Physikalische Größe Geschwindigkeit.** Zur *Reaktivierung* des Wissens über die physikalische Größe Geschwindigkeit aus Klasse 6 sind geeignete Hausaufgaben zu stellen. Insbesondere sind die physikalische Bedeutung, Formelzeichen, Einheiten und die Gleichung zur Berechnung der Geschwindigkeit zu wiederholen. Die Schüler sind auf den Gebrauch des Tafelwerkes und von Physik in Übersichten hinzuweisen.

Das Wissen der Schüler über die Geschwindigkeit wird reaktiviert und dadurch erweitert, daß zwischen Durchschnitts- und Augenblicksgeschwindigkeit unterschieden wird. Die den Schülern bekannten Bewegungen werden systematisiert. Dabei erfolgt eine Unterscheidung zwischen Bewegungen mit konstantem und solchen mit veränderlichem Betrag der Geschwindigkeit.

### Ziele

Die Schüler

- können Durchschnittsgeschwindigkeit und Augenblicksgeschwindigkeit unterscheiden;
- kennen Meßverfahren für den Betrag der Augenblicksgeschwindigkeit;
- wissen, daß die Geschwindigkeit eine gerichtete Größe ist und durch einen Pfeil dargestellt werden kann;
- können Bewegungen hinsichtlich des Betrages der Geschwindigkeit systematisieren;
- können Geschwindigkeiten vergleichen und bestimmen.

### Unterrichtsmittel

Spielzeugfahrzeug (S)

Brett

Universal-Experimentiermotor

2 Stoppuhren (aus KE)

Demonstrationstachometer oder Fahrzeugtachometer oder BM 1 mit Demomeßgerät

Polydigit mit Lichtschranken

Fo: Geschwindigkeit als gerichtete Größe (S) (Bild 22)

Fo: Bestimmen von Geschwindigkeiten (S) (Bild 23)

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Augenblicksgeschwindigkeit.** Die Schüler können zunächst über Erfahrungen zur Bestimmung von Augenblicksgeschwindigkeiten im Straßenverkehr berichten. Diese Berichte über Tachometer und Fahrtenschreiber sind durch das Zeigen eines Tachometers (eventuell eines Fahrzeugtachometers) und durch Erläuterung eines Fahrtenschreiberdiagramms (LBA 95/1) zu ergänzen. Das Meßverfahren zur Bestimmung der Augenblicksgeschwindigkeit (LBA 95/2) soll nur demonstriert werden, wichtiger ist die Auswertung der Tabelle im LB, S. 96. Hier muß die Erkenntnis vermittelt werden, daß die berechnete Durchschnittsgeschwindigkeit bei möglichst kleinen  $\Delta s$  und  $\Delta t$  eine gute Näherung für die Augenblicksgeschwindigkeit ist.

**Geschwindigkeit als gerichtete Größe.** Es wird an das Wissen der Schüler über die Darstellung gerichteter Größen mit Hilfe von Pfeilen (Kraft – Ph 7) angeknüpft. Fertigkeiten der Schüler im maßstabgerechten Darstellen von Geschwindigkeiten werden nicht angestrebt. Die Schüler sollen in einer mündlichen Übung Geschwindigkeitsangaben Pfeilen zuordnen. Im Bild 22 sind Pfeile an den Punkten A, B, C und D der Bahn angetragen. Die Schüler vergleichen die Pfeile mit den danebenstehenden Geschwindigkeitsbeträgen. Die Länge der Pfeile muß eine eindeutige Zuordnung der nebenstehenden Beträge zulassen.

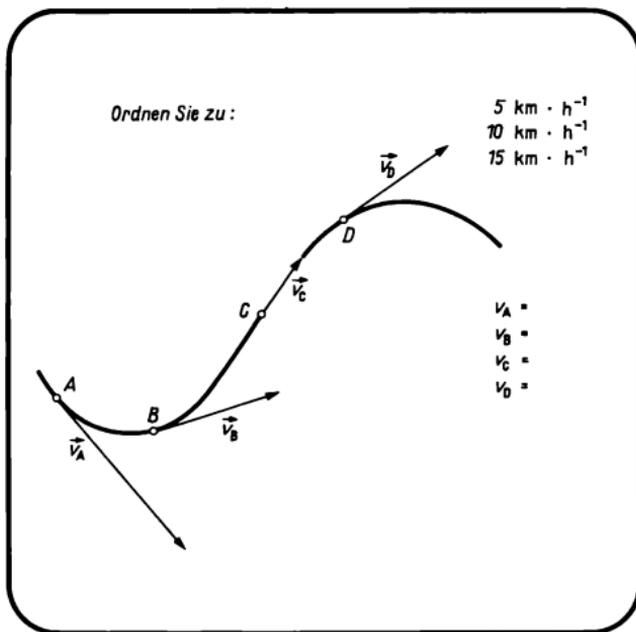


Bild 22  
Geschwindigkeit  
als gerichtete Größe  
(Folie)

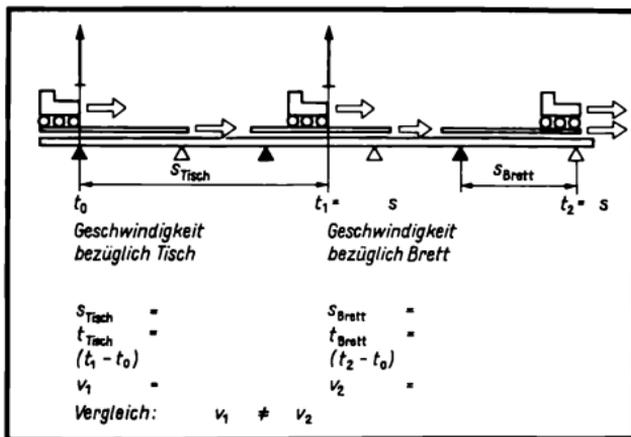


Bild 23  
Tafelbild  
zum Vergleichen  
von Geschwindigkeiten

Zur Festigung des Wissens der Schüler über die Größe Geschwindigkeit sind sowohl qualitative Aufgaben (LB, S. 97, Aufg. 2) als auch quantitative Aufgaben (LB, S. 95, Aufg. 4; S.97, Aufg. 1) zu empfehlen. Die Schüler sollen auch selbst Aufgaben mit der Größe Geschwindigkeit formulieren (LB, S. 99, Aufg. 2).

**Systematisierung von Bewegungen.** Den Schülern sind Bewegungen auf gerader und auf gekrümmter Bahn zu demonstrieren und zu erläutern. Mit ihnen soll als zweckmäßiges Unterscheidungsmerkmal der Bewegungen der Betrag der Geschwindigkeit (konstant oder veränderlich) erarbeitet werden. Danach wird zwischen gleichförmigen und ungleichförmigen Bewegungen unterschieden, wobei die Form der Bahn außer Betracht bleibt.

**Vergleichen von Geschwindigkeiten.** Zum Vergleichen von Geschwindigkeiten kann die Tabelle im LB (3. Umschlagseite) genutzt werden. Unbedingt sollten auch die Geschwindigkeiten von Schülern beim 100 m-Lauf berechnet und verglichen werden. Eine günstige methodische Möglichkeit zum Vergleich von Geschwindigkeiten kann an Hand des folgend beschriebenen Experimentes gestaltet werden:

Ein Spielzeugfahrzeug bewegt sich gleichförmig auf einem Brett. Gleichzeitig bewegt sich dieses Brett gleichförmig auf dem Experimentiertisch. Durch Zeit- und Wegmessungen und durch anschließende Berechnungen werden zwei Geschwindigkeiten bestimmt. Das Fahrzeug hat die Geschwindigkeit  $v_2$  bezüglich des Brettes,  $v_1$  ist die Geschwindigkeit des Fahrzeuges gegenüber dem Tisch (Bild 23). Im Zusammenhang mit dem Vergleich der beiden Geschwindigkeiten  $v_1$  und  $v_2$  wird den Schülern ein weiteres Mal verdeutlicht, daß die Geschwindigkeit eines Körpers vom festgelegten Bezugskörper abhängig ist. Zur Durchführung des Experiments wird empfohlen: Auf dem Brett werden zwei Markierungen als Start und Ziel des Fahrzeuges angebracht. Eine weitere Start-Ziel-Markierung wird auf dem Tisch aufgestellt. Zu messen sind die beiden Wege des Fahrzeuges  $s_{\text{Brett}}$  und  $s_{\text{Tisch}}$  jeweils von der Startmarkierung zur entsprechenden Zielmarkierung und die für das Zurücklegen der Wege benötigten Zeiten.

### *Bewegungen mit konstantem Betrag der Geschwindigkeit*

3 Stunden

Im Mittelpunkt des Stoffabschnitts steht die Arbeit mit dem Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung. Der Zusammenhang zwischen den Größen Weg und Zeit wird als Gleichung, in einer Tabelle und als Diagramm dargestellt.

Bei der Interpretation des Weg-Zeit-Gesetzes wird den Schülern ein Handlungsmuster gegeben. In diesem sind die bisher beim Interpretieren von Gleichungen vollzogenen Schritte zusammengefaßt. Dieses Handlungsmuster ist eine zweckmäßige Gliederung für das Interpretieren weiterer Gleichungen im nachfolgenden Physikunterricht.

#### **Ziele**

Die Schüler

- wissen, welche gesetzmäßigen Zusammenhänge zwischen den Größen Weg, Zeit und Geschwindigkeit bei der gleichförmigen Bewegung bestehen, sie können diese mit Hilfe von Gleichungen, Tabellen und Diagrammen angeben;
- wissen, daß diese gesetzmäßigen Zusammenhänge nur unter bestimmten Bedingungen gelten;
- kennen Beispiele für Bewegungen, die annähernd als gleichförmige Bewegung betrachtet werden können;
- können das Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung interpretieren sowie Geschwindigkeiten, Wege und Zeiten berechnen;
- können die Begriffe gleichförmige Kreisbewegung, Bahngeschwindigkeit und Umlaufzeit an Beispielen erläutern;

- kennen die Gleichung zur Berechnung der Bahngeschwindigkeit und können den Zusammenhang zwischen Bahngeschwindigkeit, Radius und Umlaufzeit bei der gleichförmigen Kreisbewegung interpretieren.

## Unterrichtsmittel

Universal-Experimentiermotor

Drehscheibe (z. B. Stelltisch aus Präzisions-Stativmaterial)

Knetmasse

2 Stoppuhren (aus KE)

Drehbar gelagerte Papierrolle (z. B. Kassenrolle, Toilettenpapier) (S)

Modelleisenbahn (S)

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Motivierung des Stoffabschnitts.** Zur Motivierung der Behandlung der Gesetze der Kinematik ist es erforderlich, für die Schüler deutlich herauszustellen, daß eine Rückführung einer Vielzahl realer Bewegungen auf wenige idealisierte Bewegungen vorgenommen wird. Durch Anwendung der für die idealisierten Bewegungen geltenden Gesetze auf Realbewegungen erfahren die Schüler, daß diese mit wenigen Gesetzen genügend genau erfaßt werden können. Dieser Gedanke ist in den folgenden Stunden immer wieder aufzugreifen und zu einer sicheren Erkenntnis der Schüler zu entwickeln. Bei der Anwendung der Gesetze der Kinematik ist stets zu prüfen, welcher idealisierten Bewegung eine vorliegende reale Bewegung entspricht (z. B. ob eine Bewegung als gleichförmige Bewegung betrachtet wird und ob die Bedingungen in guter Näherung erfüllt sind).

**Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung.** Aus der Definitionsgleichung für die Augenblicksgeschwindigkeit und aus der Definition der gleichförmigen Bewegung wird das Weg-Zeit-Gesetz für  $v_A = 0$  und  $s_A = 0$  entwickelt. Dieser methodische Weg ist effektiver als die empirische Erarbeitung des Gesetzes durch Aufnahme und Auswertung von Meßwertreihen. Der Text des LB, S. 99, kann zur Zusammenfassung nach der Erarbeitung des Weg-Zeit-Gesetzes genutzt werden.

Bei der Anwendung des Weg-Zeit-Gesetzes auf ein konkretes Beispiel (z. B. Bandförderer, Schiffshebewerk) werden die Werte für die Größen Zeit und Weg zunächst in einer Tabelle und danach im Diagramm erfaßt. Auch die Geschwindigkeit wird in einem Diagramm ( $v$ - $t$ -Diagramm) dargestellt.

Indem in das gleiche Weg-Zeit-Diagramm die Werte für Weg und Zeit bei verschiedenen Geschwindigkeiten eingetragen werden, kann den Schülern verdeutlicht werden, welche physikalische Bedeutung der Anstieg einer Geraden im Diagramm hat. Es ist hervorzuheben, wie unterschiedliche Geschwindigkeiten in den Diagrammen zum Ausdruck kommen und welche Bedeutung die Aussage  $v = \text{konstant}$  besitzt (Zusammenfassung vieler Beispiele zur „Klasse“ der gleichförmigen Bewegungen). Beim Interpretieren der Diagramme sind die Schüler darauf hinzuweisen, daß aus dem geradlinigen Verlauf der Graphen keine Aussage über die Bahnform abgeleitet werden kann, also auch gekrümmte Bahnen möglich sind.

Zur Festigung des erarbeiteten Wissens ist LB, S. 99/100, wirksam nutzbar.

**Interpretieren von  $s = v \cdot t$ .** Beim Interpretieren dieser Gleichung ist die auf S. 100 des LB gegebene Gliederung anzuwenden. Wenn die mathematischen Abhängigkeiten zwischen jeweils zwei Größen formuliert werden, muß auch die konstante dritte Größe ver-

merkt werden. Bei den zuzuordnenden physikalischen Sachverhalten sind die abhängigen von den unabhängigen physikalischen Größen zu unterscheiden: Eine Konzentration auf praktisch bedeutsame Abhängigkeiten ist notwendig.

Beispiele:

1.  $s \sim v$ , wenn  $t = \text{konstant}$ . Wenn sich mehrere Fahrzeuge eine gleiche Zeit lang (konstante Größe) mit verschiedenen Geschwindigkeiten bewegen, so legt das Fahrzeug mit der größten Geschwindigkeit (unabhängige Größe) den längsten Weg (abhängige Größe) zurück.

2.  $t \sim 1/v$ , wenn  $s = \text{konstant}$ . Bei einem Motorradrennen fahren alle Teilnehmer die gleiche Strecke (konstante Größe). Die Fahrzeit des Siegers ist am kleinsten (abhängige Größe), weil er die höchste Geschwindigkeit (eigentlich Durchschnittsgeschwindigkeit) hat (unabhängige Größe).

**Gleichförmige Kreisbewegung.** Die Begriffe Umlaufzeit, Bahngeschwindigkeit und die Gleichung zur Berechnung der Bahngeschwindigkeit können an Hand des LB, S. 101, erarbeitet werden.

Bei der Demonstration gleichförmiger Kreisbewegungen sind die Schüler auf den zu betrachtenden Körper (Knetmasse auf der Drehscheibe) hinzuweisen. Hier kann auch eine Abgrenzung gegenüber der Drehbewegung durch einen Hinweis des Lehrers erfolgen. Zur Bestimmung der Umlaufzeit ist  $t$  für  $n$  Umläufe zu messen und  $T = t/n$  zu berechnen. Damit wird eine Möglichkeit zur Steigerung der Meßgenauigkeit bei periodischen Vorgängen erreicht.

Bei der Interpretation der Gleichung  $v = 2\pi \cdot r/T$  wird zweckmäßig die Abhängigkeit  $T \sim 1/v$  ( $r = \text{konst.}$ ) in den Mittelpunkt des Unterrichts gerückt. Die Folgerung, daß bei halb so großer Geschwindigkeit die Umlaufzeit doppelt so groß ist, kann mit einer Modellbahn experimentell bestätigt werden. Die Fahrspannung wird mit dem Demomeßgerät gemessen. Aus der Zeigerstellung wird auf die Geschwindigkeit geschlossen. Für die Schüler ist günstig, wenn die Skale des Meßgeräts überdeckt wird und auf der Überdeckung die Zeigerstellung für die Geschwindigkeiten  $0, v, 2v, \dots$  markiert wird. (Eine günstige Anzeige wird beim Demomeßgerät im 10 V-Bereich bei Verwendung eines Vorwiderstandes von  $1 \text{ k}\Omega$  erreicht.)

Das Interpretieren der Gleichung für die Bahngeschwindigkeit kann auch mit Hilfe der Aufgabe 3, LB, S. 101, erfolgen.

**Zusammenhang von gleichförmiger Bewegung auf einer Kreisbahn und auf einer geraden Bahn.** Mit einem Experiment wird belegt, daß für alle gleichförmigen Bewegungen die Gleichung  $v = s/t$  und für gleichförmige Kreisbewegungen darüber hinaus die Gleichung  $v = 2\pi \cdot r/T$  gilt. Es kann von einem Tafelbild ausgegangen werden, in dem eine Gegenüberstellung der Größen Weg, Zeit und Geschwindigkeit erfolgt. Zur Vorbereitung des Experiments wird auf einer Papierrolle eine Markierung angebracht. Eine weitere Markierung dient der Feststellung der Anzahl der Umläufe der Rolle, die auf einem Stativstab

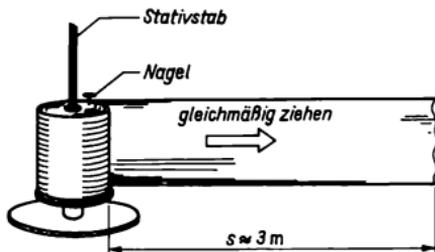


Bild 24  
Experimentieranordnung

drehbar gelagert ist. Die Bewegung wird durch möglichst gleichmäßiges Wegziehen des Papiers (etwa 3 m) erreicht (Bild 24). Die Messung der Umlaufzeit erfolgt zweckmäßig durch das Messen der Zeit für mehrere Umläufe und anschließendes Berechnen. Durch das Experiment ist ein guter Anknüpfungspunkt für die Erläuterung der tangentialen Richtung der Bahngeschwindigkeit gegeben.

Mögliche Meßwerte im Experiment:

$$\begin{array}{lll}
 n = 5 & T = 1,2 \text{ s} & s = 1,9 \text{ m} \\
 t = 6,0 \text{ s} & & t = 6,0 \text{ s} \\
 r = 6,0 \text{ cm} & v = \frac{2\pi \cdot r}{T} & v = \frac{s}{t} \\
 & v = 0,31 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} & v = 0,32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}
 \end{array}$$

**Festigung des Wissens und Könnens über die gleichförmige Bewegung.** Im LB sind auf S. 102/103 die grundlegenden Aussagen zur gleichförmigen Bewegung zusammengefaßt. Dieser Lehrbuchteil kann für die Wiederholung des wesentlichen Stoffes dieses Abschnitts genutzt werden, wobei die Schüler weitgehend selbständig arbeiten sollen. Die in der Zusammenfassung des Lehrbuches dargestellten Inhalte sind auch Gegenstand der Aufgaben 2 und 4 LB, S. 99, S. 101, Aufg. 2 und 4, S. 101, Aufg. 2 und 3. Diese Aufgaben sollten für die Festigung des Wissens und Könnens verwendet werden.

### Physikalische Größe Beschleunigung

1 Stunde

Für die Erarbeitung der Größe wird empfohlen, von Beispielen für (gleichmäßig) beschleunigte Bewegungen ausgehend die physikalische Bedeutung, die Definitionsgleichung, ein Meßverfahren und die Einheit der Beschleunigung zu behandeln. Verschiedene beschleunigte (verzögerte) Bewegungen sollen den Schülern im Experiment demonstriert werden.

In der folgenden Stunde wird die Definitionsgleichung der Beschleunigung angewendet, um das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung auf theoretischem Wege zu erarbeiten.

### Ziele

Die Schüler

- können beschleunigte und verzögerte Bewegungen durch die Geschwindigkeitsänderung beschreiben;
- kennen die physikalische Bedeutung der Beschleunigung und die Definitionsgleichung der Beschleunigung für (gleichmäßig) beschleunigte Bewegungen;
- kennen ein Meßverfahren für die Beschleunigung;
- kennen die Einheit der Beschleunigung und können sie als Geschwindigkeitsänderung je Zeiteinheit interpretieren.

### Unterrichtsmittel

Kugelfallrinne  
Endloses Band

Luftkissenbahn  
Reifenapparat

Fadenpendel  
Universal-Experimentiermotor  
BM 1 und Demomeßgerät

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Experimentelle Grundlagen.** Einfache beschleunigte Bewegungen können mit einer Kugel auf der Fallrinne (es ändert sich nur der Betrag der Geschwindigkeit) und mit einem Fadenpendel (es ändern sich Betrag und Richtung der Geschwindigkeit) demonstriert werden. Wird für das DE ein endloser Faden verwendet, der über Rollen und den Beschleunigungsmesser läuft, so soll eine möglichst gleichmäßige Beschleunigung auftreten. Dafür ist die Erprobung der Geschwindigkeitsregelung am Experimentiermotor unbedingt erforderlich (evtl. muß mehrmals geübt werden). Die Fadenmarkierung wird als Markierung für einen Massepunkt interpretiert.

Die Experimentieranordnung ist geeignet, um Bewegungen mit  $a > 0$ ,  $a < 0$  und auch  $a = 0$  zu demonstrieren. Aus diesen Experimenten heraus können Darstellungen in  $v$ - $t$ -Diagrammen und  $a$ - $t$ -Diagrammen (qualitativ) entwickelt werden.

Auch beim Einsatz des Reifenapparates ist der Zeiger als beschleunigt bewegter Massepunkt zu interpretieren.

Bei Verwendung der Luftkissenbahn ist auf gleichmäßige Belastung der Schwebekörper und auf ein dünnes Luftkissen zu achten. Dies gilt unabhängig von der Güte des Profils und der einzelnen Schwebekörper.

Zur Messung der Beschleunigung wird eine Experimentieranordnung mit dem BM 1 empfohlen. Bei Verwendung der Luftkissenbahn kann jedoch auch mit der Rasterblende (Zeitbasis 1 s, Abstand 0,5 cm) gearbeitet werden. Das Meßverfahren wird den Schülern nicht erklärt.

In dieser Stunde kann den Schülern noch nicht erklärt werden, warum bei Experimenten mit dem Reifenapparat eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung erfolgt. Die Erklärung ist erst Gegenstand der Dynamik.

**Selbständige Arbeit der Schüler mit dem Lehrbuch.** Die Ziele der Stunde in ihrer Gesamtheit und ausgewählte Teilziele können und sollen durch selbständige Arbeit der Schüler mit dem LB erreicht werden. Dafür erhalten die Schüler konkrete Aufgaben gestellt, wie z. B.: Erarbeiten Sie die physikalische Bedeutung der Beschleunigung! Erläutern Sie an einem Beispiel die Definitionsgleichung der Beschleunigung! Des weiteren sind aus dem Lehrbuch die Aufgabe 1 S. 105; S. 107, Aufg. 2 und 4; S. 101, Aufg. 1 und 2, geeignet, um die Schüler zur selbständigen Arbeit mit dem LB zu beauftragen.

### Beschleunigung

*gibt an,  
wie schnell sich die Geschwindigkeit ändert.*

Formelzeichen:  $a$

Gleichung :  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  ( $\Delta v = v_E - v_A$ )

Einheit :  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$   
(Änderung der Geschwindigkeit um 1 m/s je 1 s)

Meßgerät : Beschleunigungsmesser

-----  
Anfahren ( $v_E > v_A$ )  $a > 0$  (z.B.  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

Fahren mit  $v = \text{konst.}$   $a = 0$

Bremsen ( $v_E < v_A$ )  $a < 0$  (z.B.  $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

Stillstand  $v = 0$   $a = 0$

Bild 25  
Tafelbild  
zur Beschleunigung

Der methodische Weg der Erarbeitung der Größe Beschleunigung soll den Schülern auch durch das Tafelbild verdeutlicht werden. Bild 25 ist ein Muster für ein Tafelbild zur Behandlung physikalischer Größen.

**Einheit der Beschleunigung.** Die Einheit  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  ist für die Schüler ungewöhnlich. Das Erfassen ihrer Bedeutung bedarf vielfältiger Erläuterungen durch den Lehrer. Besonders wichtig ist, daß beim Vergleich von Beschleunigungen im Verkehrswesen (LB, 3. Umschlagseite) die dort angegebenen Werte als Geschwindigkeitsänderungen (Zu- bzw. Abnahme der Geschwindigkeit) pro Sekunde interpretiert werden und dabei auch auf Geschwindigkeitsänderung in größeren oder kleineren Zeitintervallen durch inhaltliches Überlegen geschlossen wird. Das Erfassen der Einheit der Beschleunigung kann durch die Aufgabe 3 LB, S. 107, unterstützt werden.

## *Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung*

5 Stunden

In diesen Stunden soll eine zügige Erarbeitung der Gesetze auf theoretischem Wege erfolgen, damit genügend Zeit für die Anwendung dieser Gesetze beim Freien Fall und zur Berechnung physikalischer Größen zur Verfügung steht.

### **Ziele**

Die Schüler

- können die gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit dem Geschwindigkeit-Zeit- und mit dem Weg-Zeit-Gesetz (als Gleichungen und als Diagramme) beschreiben;
- wissen, daß sich die Geschwindigkeit eines gleichmäßig beschleunigten Körpers gleichmäßig ändert und in gleichen Zeiten unterschiedliche Wege zurückgelegt werden;
- wissen, daß der Freie Fall eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung ist;
- kennen ein Meßverfahren für die Beschleunigung fallender Körper, den Wert  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  für die Beschleunigung beim Freien Fall (Fallbeschleunigung) und die Fallgesetze;
- besitzen feste Kenntnisse über die Gesetze der Kinematik und können diese selbständig beim Lösen von Aufgaben anwenden.

Die Erziehung und Befähigung der Schüler zur Organisation der eigenen Lerntätigkeit wird insbesondere bei der Planung des Lösungsweges und beim Anhalten zur übersichtlichen Niederschrift der Lösung physikalischer Aufgaben fortgesetzt.

### **Unterrichtsmittel**

Reifenapparat	BM 1 mit Demomeßgerät
Zentraluhr	Luftkissenbahn
Kugelfallrinne	Wagen mit Tropfflasche
Polydigit	Wagen mit Haltemagnet
Mechanisches Tor (oder Lichtschranke)	
Fallschnur (PSV 1/2, V 4.3.2.)	
Standzylinder mit dickflüssigem Paraffin oder Öl	

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz.** Aus der Definitionsgleichung für die Beschleunigung kann die Gleichung  $v = a \cdot t$  für gleichmäßig beschleunigte Bewegungen aus dem Stillstand entwickelt werden (LB, S. 106). Ein Experiment zur Bestätigung der Gleichung ist für den Erkenntnisprozeß nicht notwendig.

Bei der Auswertung der Tabelle im LB, S. 107, ist auf die Berechnung der Mittelwerte der Beschleunigung einzugehen (Aufgabe 5, LB, S. 106). Bei der Darstellung der Meßwerte in einem gemeinsamen Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm wird die physikalische Bedeutung des Anstiegs der Graphen (ähnlich wie beim Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung) erörtert.

Wenn bei der Interpretation des Geschwindigkeit-Zeit-Gesetzes die Abhängigkeiten  $v \sim t$  ( $a = \text{konst.}$ ) und  $v \sim a$  ( $t = \text{konst.}$ ) in den Mittelpunkt gerückt werden, so sind die Erfahrungen der Schüler aus dem Verkehrswesen bei der Auswahl der Beispiele zu beachten.

**Weg-Zeit-Gesetz.** Um die Schüler für die theoretische Erarbeitung des Gesetzes zu motivieren, kann ihnen zunächst in einem Experiment gezeigt werden, daß – im Gegensatz zur gleichförmigen Bewegung – bei der gleichmäßig beschleunigten Bewegung ein Körper in jeweils gleichen Zeitintervallen verschieden große Wege zurücklegt.

Für die theoretische Herleitung bieten sich *zwei Varianten* an. Wenn entsprechend Lehrbuch verfahren wird, so lernen die Schüler an einem Beispiel kennen, daß auch der Flächeninhalt unter dem Graphen in einem Diagramm eine physikalische Bedeutung haben kann:

Eine analytische Methode zur Herleitung des Weg-Zeit-Gesetzes zeigt das Tafelbild (Bild 26). Bei der Anwendung dieses Weges muß den Schülern plausibel gemacht werden,

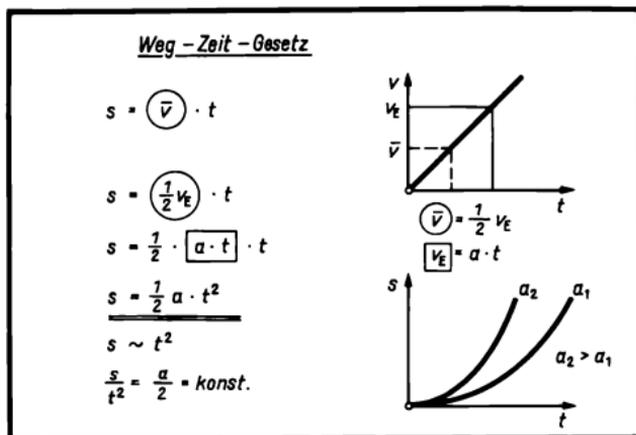


Bild 26  
Tafelbild  
zum Weg-Zeit-Gesetz

daß bei gleichmäßiger Geschwindigkeitsänderung aus der Ruhe heraus die **Durchschnittsgeschwindigkeit halb so groß wie die Endgeschwindigkeit** ist. Die zur Herleitung notwendigen Substitutionen gehören zum grundlegenden Können der Schüler aus dem Mathematikunterricht.

Für eine experimentelle Überprüfung des Weg-Zeit-Gesetzes gelten die gleichen Bemerkungen wie für das Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz, eine experimentelle Bestätigung ist aber hier aus methodischer Sicht (Übung der Meßtechnik für Praktikum) sinnvoll.

Für die rationelle Unterrichtsführung ist es zweckmäßig, Meßwerte aus LB, S. 109, zu übernehmen und im Weg-Zeit-Diagramm grafisch darzustellen. Mit den Schülern ist zu erörtern, daß der Graph eine Parabel ist (quadratische Funktion) und daß die Streckung der Parabel vom Betrag der Beschleunigung abhängt.

**Freier Fall.** Die Motivierung erfolgt durch Experimente zum Nachweis der Unabhängigkeit der Fallzeit von der Masse. Im Mittelpunkt steht die Bestimmung der Fallbeschleunigung (Bestimmung einer physikalischen Konstante, Bild 27).

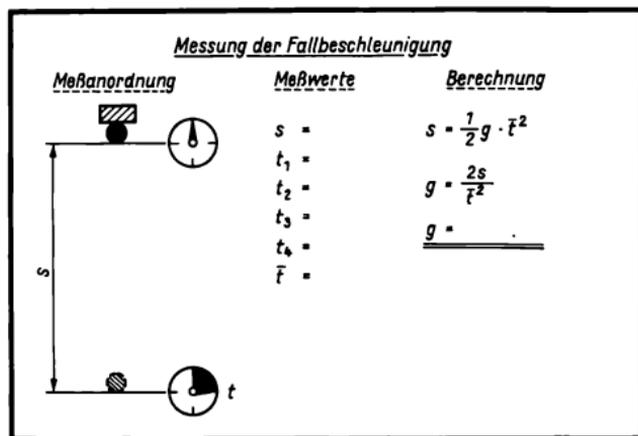


Bild 27  
Tafelbild zum Messen  
der Fallbeschleunigung

Die Fallbewegung wird als gleichmäßig beschleunigte Bewegung angenommen, in den Gesetzen wird  $a$  durch  $g$  ersetzt,  $g$  wird bestimmt. Der Vergleich der experimentell ermittelten Werte für  $g$  mit dem Tabellenwert ist mit einer Erörterung der Notwendigkeit der Mittelwertberechnung infolge der Meßfehler abzuschließen. Insbesondere ist der starke Einfluß der Meßfehler der Größe Zeit auf das Ergebnis zu diskutieren. Bei der Erörterung des Einflusses des Luftwiderstandes auf die Fallzeit erfolgt auch ein Hinweis auf unterschiedlich gerichtete Beschleunigungen (Fallbeschleunigung, Verzögerung durch Widerstandskraft am fallenden Körper) und damit auf den vektoriellen Charakter dieser Größe.

**Freier Fall und reale Fallbewegungen.** Die Schüler sollen wissen, daß man bei Körpern großer Dichte und bei kleinen Fallstrecken ( $r < 10$  m) die Gesetze des (idealisierten) Freien Falls anwenden kann, um für reale Fallbewegungen entsprechende Größen zu berechnen. Bei kleinen Fallstrecken ist der durch das Zeitmeßgerät bedingte Fehler häufig größer als der durch den Luftwiderstand verursachte.

Durch das Experiment mit der *Fallschnur* wird belegt, daß bei o. g. Bedingungen die Gesetze des Freien Falls anwendbar sind. Für die Anfertigung der Fallschnur erhalten die Schüler folgende Angaben für die Abstände der Körper: 12, 48, 108, 192 (300) cm. Es kann auch ein „Gegenexperiment“ (gleichmäßige Abstände der Körper) zusätzlich vorbereitet und durchgeführt werden.

Die Erläuterung der Fallbewegung beim Fallschirmspringen soll zu der Erkenntnis führen, daß durch den Luftwiderstand eine annähernd gleichförmige Bewegung entsteht ( $v$  bei geöffnetem Schirm  $\approx 20$  km/h). Durch ein Demonstrationsexperiment soll diese Erkenntnis am Beispiel einer in Öl fallenden Kugel vertieft werden. Es ist zu erläutern, daß frei fallende Körper in Luft nur zu Beginn der Bewegung gleichmäßig beschleunigt werden. Bei

der Diskussion des wirkenden Luftwiderstandes kann nochmals auf unterschiedliche Richtungen der Fallbeschleunigung und der entgegengesetzten Beschleunigung (Verzögerung durch Luftwiderstand) eingegangen werden. Die Anwendung der Fallgesetze bei realen Bewegungen ist auf solche mit kurzen Fallwegen zu beschränken, da nur in diesem Falle die Beschleunigung annähernd  $g$  ist.

Für die Erziehung der Schüler zur Vorsicht im Straßenverkehr eignet sich die Frage nach einer vergleichbaren Fallhöhe zu einem Unfall mit Frontalaufprall. Die Schüler sollen nach der Schilderung der Situation eine Aufgabe mit selbstgewählten Werten formulieren und lösen.

**Würdigung Galileis.** Wenn Schüler beauftragt werden, Leben und Werk Galileis in einem Schülervortrag zu würdigen, so sollen sie für die Vorbereitung des Vortrags folgende Schwerpunkte erhalten: Einführung des Experiments als wesentliche Methode der Physik. Zweifel Galileis an jahrausendlang als richtig angenommenen Behauptungen, Rolle Galileis in weltanschaulichen Auseinandersetzungen seiner Zeit.

Die Schüler sollen angehalten werden, den Vortrag nach einem Stichpunktzettel zu halten.

Zur Würdigung der Arbeiten Galileis wird auch ein Vergleich der Möglichkeiten Galileis zur Zeitmessung mit heutigen Möglichkeiten gezogen. Die allmählich steiler gehaltene Fallrinne kann als Ergänzung zum Schülervortrag gezeigt werden. – Erzieherisch ist insbesondere herauszuarbeiten, was es für Galilei bedeutet hat, an lange Jahre für richtig angenommenen Aussagen zu zweifeln und welche Standhaftigkeit die Durchsetzung neuer Erkenntnisse erfordert hat.

**Lösen von Aufgaben.** Im LB, S. 111 bis 113, sind Beispiele angegeben, wie die Schüler beim Lösen von Aufgaben vorgehen sollen. Da in der Kinematik immer häufiger zum Lösen einer Aufgabe mehr als eine Gleichung herangezogen werden muß, gewinnt die gedankliche Vorwegnahme des Lösungsweges, der Plan der Lösung, immer mehr an Bedeutung für erfolgreiches selbständiges Arbeiten der Schüler. Die Schüler sollen deshalb angehalten werden, vor dem Lösen der Aufgaben „im engeren Sinne“, also vor Beginn der Niederschrift der Berechnungen, den Lösungsplan gründlich zu durchdenken. Das Entwickeln von Lösungsplänen kann an Hand folgender Fragen erfolgen:

Welche Bewegungsart liegt vor?

Welche Größen sind gesucht?

Welche Größen sind gegeben?

Welche Größen müssen substituiert werden?

Mit welchen Gleichungen kann gerechnet werden?

Welche Größen müssen noch berechnet werden?

Welche Größen sind in Einheiten gegeben, die erst noch umgerechnet werden müssen?

Immer wieder sollen die Schüler darauf hingewiesen werden, daß zweckmäßig die Einheit der Geschwindigkeit vor Beginn der Berechnungen in m/s umgewandelt wird, wenn die Angabe in km/h erfolgt.

Zur geistigen Vorwegnahme des Lösungsweges gehört auch, daß sich die Schüler Klarheit über den Ablauf der numerischen Rechnungen mit dem Taschenrechner schaffen. Deshalb soll bei den Aufgaben, die im Unterricht an der Tafel gelöst werden, nach Abschluß der allgemeinen und vor Beginn der numerischen Lösung ganz bewußt mit den Schülern der Ablaufplan diskutiert werden.

Inhaltlicher Schwerpunkt der Festigung und Kontrolle sind die Systematisierung der Gesetze der Kinematik und das Lösen weiterer physikalischer Aufgaben zur gleichförmigen und zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung. Für die Stellung des Stoffabschnittes können zwei *Varianten* empfohlen werden.

**Variante A.** Die für Festigung und Kontrolle vorgesehene Unterrichtszeit wird an die Behandlung der Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung angeschlossen. Somit ist es möglich, die Systematisierung der Gesetze der Kinematik und das Aufgabenlösen als geschlossene Einheit zu gestalten und mit einer schriftlichen Leistungskontrolle das Können der Schüler zur Arbeit mit den Gesetzen der Kinematik zu überprüfen. Zwischen der Anfertigung und der Rückgabe der schriftlichen Leistungskontrolle wird die Überlagerung von Bewegungen behandelt.

**Variante B.** Wird die Zusammensetzung von Bewegungen behandelt, bevor die Stunden für Festigung und Kontrolle erteilt werden, so können die zusammengesetzten Bewegungen auch Gegenstand der Leistungskontrolle zur Kinematik sein. Jedoch muß die systematische Behandlung der Dynamik durch Rückgabe der Leistungskontrolle unterbrochen werden, da im allgemeinen zwischen der Anfertigung und der Rückgabe schriftlicher Leistungskontrollen einige Unterrichtsstunden vergehen.

### Ziele

Die Schüler

- besitzen systematisierte Kenntnisse über physikalische Größen und Gesetze zur Beschreibung von Bewegungen in Natur und Technik;
- können Aufgaben selbständig analysieren, Lösungspläne entwickeln und Aufgaben lösen;
- haben gefestigtes Können zum Lesen und Interpretieren von Diagrammen.

### Unterrichtsmittel

Fo:  $s$ - $t$ -,  $v$ - $t$ - und  $a$ - $t$ -Diagramme (S) (Bild 28)

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Systematisierung der Größen und Gesetze.** Die Systematisierung ist an Hand der zusammenfassenden Übersichten in LB, S. 118 bis 121, möglich. Diese Zusammenfassungen enthalten das grundlegende Wissen über die physikalischen Größen und Gesetze, die in der Stoffeinheit Kinematik im Mittelpunkt des Unterrichts standen. Die Schüler sollen die Definitionsgleichungen und Einheiten der Größen und die Gesetze nicht nur im LB, sondern auch im Tafelwerk und in Physik in Übersichten aufsuchen. Alle Gleichungen und auch die Einheiten der Größen sind zu interpretieren, um das inhaltliche Verständnis der Schüler für dieselben weiter zu vertiefen.

**Arbeit mit Diagrammen.** Die Festigung ist besonders darauf zu richten, daß die Schüler die behandelten Diagramme in der Kinematik interpretieren und die in den Diagrammen

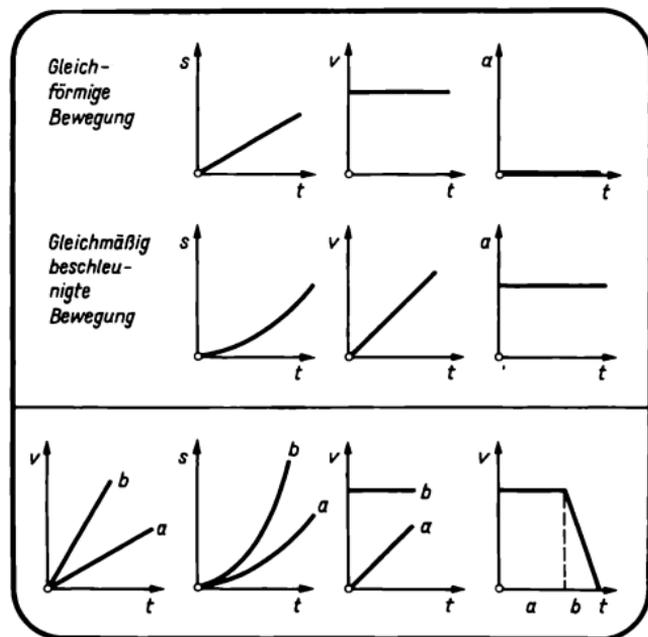


Bild 28  
 $s$ - $t$ -Diagramm  
 und  $a$ - $t$ -Diagramme  
 (Folie)

dargestellten mathematischen Zusammenhänge zwischen den Größen erkennen. Dazu kann die selbstgefertigte Folie (Bild 28) eingesetzt werden. Die Folie enthält auch Diagramme, die es möglich machen, die physikalischen Vorgänge in anderen Diagrammen darzustellen. Beispiel:  $v$ - $t$ -Diagramm mit  $v = \text{konst.}$  und anschließender gleichmäßiger Abnahme von  $v$  auf Null kann in einem  $s$ - $t$ -Diagramm dargestellt werden.

**Lösen von Aufgaben.** Inhaltliche Schwerpunkte sind in den einleitenden Bemerkungen zur Stoffeinheit genannt. Bei der Auswahl der Aufgaben muß der Lehrer genau bilanzieren, welches grundlegende Wissen und Können bei den Schülern zum Abschluß der Stoffeinheit weiter gefestigt werden muß. Insbesondere sollen Aufgaben aus LB, S. 121/122, genutzt werden:

Arbeit mit physikalischen Größen	Aufg. 15
Berechnungen	Aufg. 6, 10, 13, 16, 19
Arbeit mit Diagrammen	Aufg. 14
Erläutern eines Vorgangs	Aufg. 21

Wenn im Zusammenhang mit dem Lösen von Aufgaben weitere Betrachtungen zur Angabe der Ergebnisse mit sinnvoller Genauigkeit notwendig sind, so sollen die Schüler auch erkennen, daß die in die Rechnung eingehenden Größen etwa mit gleicher Genauigkeit ermittelt werden müssen.

Es kann im Unterricht auch darauf hingewiesen werden, daß sehr genaue Zeitmessungen für Weltrekorde (z. B. im Schwimmen und in der Leichtathletik) nur dann sinnvoll sind, wenn auch die Bahnlängen sehr genau gemessen wurden.

Den Schülern ist zu erläutern, daß bei physikalischen Berechnungen die Genauigkeit der Größen oft nicht bekannt ist und deshalb eine Genauigkeit vereinbart wird. Letzteres wird an Beispielen erläutert (z. B.  $s = 39$  m bedeutet mathematisch  $38,5 \text{ m} \leq s \leq 39,5 \text{ m}$ ).

**Fehleranalyse.** Bei der Rückgabe der schriftlichen Leistungskontrolle sollen typische Fehler analysiert und berichtigt werden. Dabei ist durch geeignete Aufgabenstellungen eine vielseitige Schülertätigkeit (Beschreiben, Erklären, Erläutern usw.) zu organisieren. Die Aufgaben 10 und 16 aus LB, S. 121/122, können so ausgewertet werden, daß die Einsicht der Schüler in die Notwendigkeit rücksichtsvollen Verhaltens im Straßenverkehr vertieft wird.

## *Überlagerung von Bewegungen*

2 Stunden

Die Überlagerung mehrerer Teilbewegungen zu einer resultierenden Bewegung wird experimentell behandelt. Auf mathematische Beschreibungen der zusammengesetzten Bewegungen wird verzichtet.

### **Ziele**

Die Schüler

- kennen Vorgänge, bei denen sich Bewegungen überlagern und können die resultierenden Bewegungen analysieren;
- können Wurfbewegungen auf die Einzelbewegungen zurückführen und für Bahnpunkte die Richtung der resultierenden Bewegung beschreiben;
- kennen (qualitativ) den Zusammenhang zwischen Wurfweite, Abwurfwinkel und Anfangsgeschwindigkeit beim schrägen Wurf;
- können die Bedeutung der Ballistik für treffsicheres Schießen begründen.

### **Unterrichtsmittel**

PSV 1/2, V 4.4.5. (Fallzeit beim Freien Fall und waagerechten Wurf)

PSV 1/2, V 4.4.7. (Vergleich von Wurfbahnen)

Wurfgerät und Sandkasten (z. B. Fotoschale mit Sand)

Schlauch mit Spritze und pneumatische Wanne

Kleiner Luftstromerzeuger

### **Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**Einführung.** Zur Erarbeitung der Begriffe Teilbewegung und resultierende Bewegung sind Experimente durchzuführen und Erfahrungen der Schüler (z. B. Bewegungen bei der Arbeit von Kranen) auszuwerten. Als Demonstrationsexperiment eignet sich die Bewegung einer Stahlkugel, die auf dem Polylux an einer Manipierplatte vorbeirollt. Es können die Teilbewegungen (Rollen der Kugel ohne Magnet; Kugel wird aus dem Stillstand vom Magneten angezogen) und die resultierende Bewegung deutlich unterschieden werden. Als Manipierplatte ist eine Magnetplatte aus der Haftoptik verwendbar.

Bei der Analyse der sich beim waagerechten Wurf überlagernden Teilbewegungen kann von der Frage ausgegangen werden: Dauert ein waagerechter Wurf länger als ein Fall aus gleicher Höhe? Zur Beantwortung dieser Frage können die Schüler Experimente zur Prüfung ihrer Annahmen vorschlagen. Das Experiment kann gemäß PSV 1/2, V 4.4.5., durchgeführt werden. Bei der Erklärung der gleichen Fallzeiten ist von dem größeren Betrag der

Geschwindigkeit der Wurfbewegung auszugehen. Die Erklärung soll sich darauf beschränken, daß der geworfene Körper zwar eine größere (resultierende) Geschwindigkeit erhält, aber auch einen entsprechend längeren Weg zurücklegt. Eine quantitative Betrachtung ist nicht vorzusehen.

**Bahnverlauf bei Wurfbewegungen.** Eine effektive Erarbeitung des Bahnverlaufes beim waagerechten und beim schrägen Wurf erfolgt unter starker Führung des Lehrers an der Tafel. Die Geschwindigkeitspfeile werden für verschiedene Punkte der Bahn nicht maßstabgerecht gezeichnet, jedoch sollen größere Geschwindigkeiten durch längere Pfeile dargestellt werden. Die Demonstration des Bahnverlaufes kann entsprechend PSV 1/2, V 4.4.7. erfolgen. Des weiteren sollten die Schüler die gekrümmten Wurfbahnen bei Experimenten mit dem Wurferät beobachten. Diese Experimente leiten dazu über, die Abhängigkeit der Wurfweite vom Abwurfwinkel (bei gleicher Abwurfgeschwindigkeit) und von der Abwurfgeschwindigkeit (bei gleichem Abwurfwinkel) experimentell zu untersuchen. Bei den Experimenten muß sich die Öffnung des Wurferätes in Höhe des Sandkastens befinden. Aus den Ergebnissen der Experimente sollen die Schüler Schlußfolgerungen für das Erreichen guter eigener sportlicher Leistungen beim Weitsprung und bei Wurf Wettbewerben ziehen.

Mit einem Demonstrationsexperiment (Wasserstrahl im entgegengerichteten Luftstrom des Gebläses) kann den Schülern gezeigt werden, daß durch den Luftwiderstand die Wurfbahn erheblich von der Wurfparabel abweichen kann. Das Experiment wirkt besonders überzeugend, wenn der Luftstrom erst nachträglich eingeschaltet und die Bahn auch noch durch „Windstärkeänderungen“ beeinflußt wird.

Mit der Durcharbeitung des Abschnittes LB, S. 118, über ballistische Bahnen kann die Behandlung des Stoffabschnittes abgeschlossen werden.

## Stoffeinheit Dynamik

17 Stunden

### *Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen die *Newtonschen Gesetze* der Mechanik und das *Gesetz von der Erhaltung der Energie* (angewendet auf mechanische Vorgänge). Die Schüler sollen den Zusammenhang zwischen den Bewegungsänderungen von Körpern (Massepunkten) und den an ihnen angreifenden Kräften verstehen.

Das Newtonsche Grundgesetz und das Gesetz von der Erhaltung der Energie werden mathematisch formuliert und zum Berechnen von Größen angewendet. Wie in der Kinematik sollen die Schüler erkennen, daß mit Hilfe der Mathematik *Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen* in Form von Tabellen, Diagrammen und Gleichungen ausgedrückt werden können. Die in der Kinematik stets durchgeführten Betrachtungen über die *Bedingungen für die Gültigkeit physikalischer Gesetze* werden in der Dynamik fortgeführt (z. B. Körper ist als Massepunkt zu betrachten, keine Umwandlung mechanischer Energie durch Reibung). Die Schüler sollen immer wieder dazu angehalten werden, vor dem Anwenden entsprechender Gesetze selbständig zu prüfen, ob die Gültigkeitsbedingungen erfüllt sind.

Für die *weltanschauliche Bildung und Erziehung* der Schüler ist in dieser Stoffeinheit von Bedeutung, daß sie erkennen, wie die physikalischen Gesetze zur Erklärung von Vorgängen in Produktion, Technik und anderen Bereichen des Lebens praktisch genutzt werden. An Beispielen wird den Schülern die Rolle der *Theorie als Mittel zur Erklärung und zur Voraussage*

des Verlaufs von Vorgängen immer wieder bewußt gemacht. Damit die Schüler vertiefte Einsichten darüber erlangen, daß ihr erworbenes Wissen praktisch bedeutsam ist, sollen Möglichkeiten zur Anwendung der Gesetze der Dynamik auf Beispiele aus dem vielschichtigen Erfahrungsbereich der Schüler – insbesondere aus der produktiven Arbeit – intensiv genutzt werden. Verbindungen zum Fach ESP (z. B. Maschinentechnik Kl. 8) sind in der Dynamik oft herzustellen.

Es ist zweckmäßig, die physikalischen Gesetze in der Stoffeinheit Dynamik auf verschiedene Art zu formulieren. Dabei sind unbedingt auch solche Formulierungen zu beachten, die den Schülern verdeutlichen, daß die Gesetze für die praktische Tätigkeit des Menschen Bedeutung haben. Es ist jedoch ausreichend, wenn sich die Schüler jeweils nur eine Formulierung eines Gesetzes einprägen.

Die Behandlung der Newtonschen Gesetze wird mit dem *Wechselwirkungsgesetz* begonnen, weil hierbei an Wissen der Schüler über Kräfte aus den Klassen 6 und 7 angeknüpft werden kann. Dieses Wissen wird durch die maßstabgerechte Darstellung von Kräften mit Pfeilen erweitert. *Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften* werden an einfachen Beispielen (insbesondere aus Produktion und Technik) behandelt, wobei die Zusammensetzung von zwei Kräften und die Abhängigkeit der resultierenden Kraft vom Winkel zwischen den beiden Teilkräften im Mittelpunkt stehen. Es ist zu betonen, daß Kräfte durch Betrag und Richtung gekennzeichnet sind, und daß eine Kraft als Resultierende mehrerer Kräfte betrachtet werden kann. Fertigkeiten im zeichnerischen Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften werden von den Schülern nicht gefordert.

Das Wissen der Schüler aus Klasse 6 und 7 über die physikalischen Begriffe Kraft und Masse wird erweitert und vertieft, es erfolgen aber keine neuen Definitionen dieser Begriffe. Der Zusammenhang zwischen Kraft und Masse wird durch das Newtonsche Grundgesetz ausgedrückt.

Bei der Behandlung des *Trägheitsgesetzes* sind Möglichkeiten zum problemhaften Unterrichten intensiv zu nutzen. Die Schüler sollen vor Erklärungsprobleme gestellt werden, wobei insbesondere die Auswahl anspruchsvoller Beispiele aus der Praxis zur Realisierung des polytechnischen Prinzips im Physikunterricht beitragen kann. Den Schülern soll deutlich gemacht werden, daß man bei der Erklärung von Bewegungen nicht von ungeprüften Alltagserfahrungen ausgehen darf, wie dies in der Geschichte der Physik etwa 2000 Jahre lang (von Aristoteles bis Galilei) geschehen ist.

Als besonderer Schwerpunkt der Stoffeinheit ist das *Newtonsche Grundgesetz der Mechanik* anzusehen. Es soll experimentell erarbeitet werden, wobei nachgewiesen wird, daß die Beschleunigung eines Körpers (bei konstanter Masse) von der an diesem Körper angreifenden Kraft sowie die Beschleunigung unterschiedlicher Körper (bei konstanter Kraft) von deren Masse abhängig ist. Bei der Interpretation des Newtonschen Grundgesetzes ist die Abhängigkeit der Beschleunigung von der Kraft bzw. von der Masse in ihrer Bedeutung für die Praxis in der Vordergrund zu stellen.

Das Newtonsche Grundgesetz wird als Größengleichung u. a. dazu angewendet, eine weitere Möglichkeit der Kraftmessung und die Definition der Einheit 1 N zu erläutern, Gewichtskräfte von Körpern zu berechnen und zu zeigen, daß das Trägheitsgesetz im Newtonschen Grundgesetz (für  $F = 0$ ) enthalten ist. Es sind auch solche quantitativen Aufgaben zu lösen, bei denen neben dem Newtonschen Grundgesetz die Gesetze der Kinematik angewendet werden müssen. Am Beispiel der *Radialkraft* wird den Schülern gezeigt, daß das Newtonsche Grundgesetz auch gilt, wenn Körper ihre Bewegungsrichtung ändern.

An verschiedenen Stellen des Physikunterrichts und im Fach ESP haben die Schüler Beispiele für die *Übertragung, Umwandlung und Erhaltung der Energie* kennengelernt. An dieses Wissen wird angeknüpft und das *Gesetz von der Erhaltung der Energie* auf mechanische Vorgänge angewendet und als Gleichung formuliert.

Bei Betrachtungen zur Umwandlung mechanischer Energie ist den Schülern zu erläutern, daß mechanische Energie besser als die thermische Energie nutzbar ist, die durch Reibung

aus mechanischer Energie entsteht. Die Schüler sollen verstehen, daß es für die praktische Anwendung von Energie wesentlich ist, in welcher Form die Energie vorliegt oder welche Temperatur ein System hat, das thermische Energie besitzt. Der Systembegriff wird dabei nicht benutzt.

Die Gleichungen für die *potentielle Energie* eines gehobenen Körpers und die *kinetische Energie* eines bewegten Körpers werden theoretisch erarbeitet, wobei vom Zusammenhang zwischen verrichteter mechanischer Arbeit und Änderung der mechanischen Energie ausgegangen wird. Mit den Schülern ist zu erörtern, daß die potentielle und die kinetische Energie eines Körpers von der Wahl des Bezugskörpers abhängig sind.

Das Gesetz von der Erhaltung der Energie sollen die Schüler selbständig zum Erklären von Vorgängen, zum Herleiten von Gleichungen und zum Berechnen physikalischer Größen anwenden. Beim Berechnen physikalischer Größen ist den Schülern zu verdeutlichen, daß bei Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie rationellere Lösungen als bei ausschließlicher Nutzung der Gesetze der Kinematik möglich sind.

Für die *Erziehung der Schüler* zur Anwendung der Mathematik gelten für die Stoffeinheit Dynamik die gleichen Aussagen wie für die Stoffeinheit Kinematik.

Bei der *Würdigung der wissenschaftlichen Arbeiten Newtons* ist der Hinweis an die Schüler erzieherisch wichtig, daß Newton – entgegen bis dahin gültiger Annahmen – erkannt hat, daß für die Bewegung der Körper auf der Erde und in anderen Bereichen unseres Sonnensystems die gleichen physikalischen Gesetze gelten. Diese Erkenntnis hat in der Geschichte der Menschheit entscheidend zur Ausprägung des wissenschaftlichen Weltbildes beigetragen, weil durch Newton der jahrtausendlang angenommene Unterschied zwischen Himmel und Erde bezüglich der Gültigkeit der Naturgesetze endgültig aufgehoben worden ist.

Eine ausführliche Behandlung dieser weltanschaulichen Konsequenz der Erkenntnisse Newtons ist in Klasse 9 noch nicht vorgesehen, sie erfolgt in Klasse 10 im Fach Astronomie.

In der Stoffeinheit Dynamik sind die Schwerpunkte im *Wissen und Können*:

- Wechselwirkungsgesetz, Trägheitsgesetz, Newtonsches Grundgesetz  $F = m \cdot a$ , Gesetz von der Erhaltung der Energie bei mechanischen Vorgängen;
- Gleichungen zur Berechnung der kinetischen Energie eines bewegten Körpers und der potentiellen Energie eines gehobenen Körpers;
- Anwenden der Gesetze bei der Analyse physikalischer Zusammenhänge (Interpretieren von Gleichungen), beim Erklären von Vorgängen und beim Berechnen physikalischer Größen;
- Beschreiben von Experimenten zum qualitativen Nachweis der in den Gesetzen der Dynamik ausgedrückten physikalischen Zusammenhänge.

Die Planung von Leistungskontrollen ist so vorzunehmen, daß rechtzeitig, z. B. nach Behandlung, Systematisierung und Übung der Gesetze der Dynamik und vor Behandlung der Kreisbewegung, eine schriftliche Leistungskontrolle durchgeführt wird. Kontrollen zum Wissen und Können der letzten Stoffabschnitte sind in mündlicher Form zu planen, da wegen der Lage der Stoffeinheit am Ende des Schuljahres eine abschließende Klassenarbeit nicht rechtzeitig ausgewertet werden könnte.

Nachfolgend sind mögliche Aufgaben für eine schriftliche Leistungskontrolle zusammengestellt. Der Lehrer sollte aus jeder Gruppe von Aufgaben mindestens eine auswählen. Dabei ist zu beachten, daß die Aufgaben innerhalb einer Gruppe verschiedenes Anforderungsniveau haben.

### I Kraft als gerichtete Größe

1. Geben Sie Betrag und Richtung der resultierenden Kraft zweier Teilkräfte  $F_1 = 70 \text{ N}$  (nach links) und  $F_2 = 130 \text{ N}$  (entgegengerichtet nach rechts) an!
2. Stellen Sie folgende Kräfte durch Pfeile dar. Wählen Sie einen geeigneten Maßstab!
  - a) Gewichtskraft eines  $5 \text{ kg}$ -Wägestückes
  - b) Auftriebskraft eines in Wasser eingetauchten Körpers, dessen Volumen  $V = 70 \text{ cm}^3$  beträgt.

### II Anwenden der Gesetze der Dynamik

1. Erklären Sie, warum beim Schießen ein Rückstoß auftritt!
2. Erklären Sie, warum durch Verwendung von Sicherheitsgurten die Verletzungsgefahr für die Fahrzeuginsassen bei starkem Bremsen oder bei einem Auffahrunfall gemindert wird!

### III Zusammenhang zwischen Bewegungsänderung und Kraft

1. Ein bestimmtes Motorrad, dessen Gesamtmasse mit Fahrer  $250 \text{ kg}$  beträgt, kann eine maximale Beschleunigung von  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  erreichen. Berechnen Sie für 3 verschiedene Beschleunigungen die zugehörige Kraft! Stellen Sie die berechneten Wertepaare in einem  $a$ - $F$ -Diagramm graphisch dar!
2. Wie groß ist die Geschwindigkeit eines Körpers, dessen Masse  $m = 2 \text{ kg}$  beträgt, wenn er aus dem Stillstand mit einer konstanten Kraft von  $40 \text{ N}$   $2 \text{ s}$  lang beschleunigt wird? Wie verändert sich die Endgeschwindigkeit, wenn die Beschleunigung doppelt so lange erfolgt?

### IV Planen und Beschreiben von Experimenten

1. Beschreiben Sie ein Experiment zur Untersuchung der Abhängigkeit der Beschleunigung eines Körpers von der wirkenden Kraft!
2. Skizzieren Sie ein einfaches Experiment zur Demonstration der Trägheit! Beschreiben Sie, woran Sie die Trägheit des Körpers erkennen!

## Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierendes Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
Stoffabschnitt Kraft als gerichtete Größe, Wechselwirkungsgesetz und Trägheitsgesetz (3 Stunden)		
Wechselwirkung, Teilkräfte und resultierende Kraft Zusammensetzen und Zerlegen von Kräften Wechselwirkungsgesetz Trägheitsgesetz Erklären von Vorgängen 3 Std.	Kraft (Ph 6, 7) Wirkung von Kräften (Ph 6, 7) Darstellung von Kräften mit Pfeilen (Ph 7) Maßstab (Ma 4) Parallelogramm (Ma 6) Trägheit (Ph 6) Masse (Ph 6)	Satz Federkraftmesser Dauer- und Elektromagnete (Aufbausatz E-Lehre) Elektronenstrahlröhre Trägheitspumpe aus SEG Niveaustandsregelung (ESP) Nachbildung der Trägheitspumpe (S) Luftkissentisch und Luftkissenbahn DE: Trägheitswirkungen

Stoffabschnitt Newtonsches Grundgesetz (6 Stunden)		
<b>Variante A</b> Experimentelles Erarbeiten des Newtonschen Grundgesetzes Interpretieren und Anwenden auf $F_G$ 3 Std.	Zusammenhang von Kraft und Bewegungsänderung (Ph 6) Kraft, Masse (Ph 6, 7) Beschleunigung (Ph 9) Interpretieren von Gleichungen (Ph 9) Gewichtskraft (Ph 6, 7)	Luftpissenbahn BM 1 mit Demomeßgerät DE: Zusammenhang zwischen $a$ und $F$ sowie $a$ und $m$
<b>Variante B</b> Mitteilen des Newtonschen Grundgesetzes Bestätigen der Proportionalitäten $a-F$ und $a-\frac{1}{m}$ Berechnen von Größen, Anwenden auf $F_G$ 3 Std.	wie Variante A	wie Variante A
Festigung und Kontrolle 3 Std.	Gesetze und Größen der Kinematik und Dynamik (Ph 9) Interpretieren von Gleichungen und Diagrammen (Ph 9)	Folie mit $a-F$ - und $a-m$ -Diagramm (6) Dünnes Brett oder Pappe, Wurfkörper (S) Schülervortrag: Leben und Werk von Newton
Stoffabschnitt Kreisbewegung (3 Stunden)		
Kreis- und Drehbewegung Radialkraft Mitteilen der Gleichung für die Radialkraft Interpretieren und Anwenden auf Beispiele aus Praxis und Produktion 3 Std.	Bahngeschwindigkeit bei gleichförmiger Kreisbewegung (Ph 9) Newtonsches Grundgesetz (Ph 9) Beschleunigung (Ph 9) Getriebe und Wellen (ESP 8)	Knetmasse (S) Drehbarer Schwamm (S) Universalexperimentiermator Radialkraftwaage DE: Abhängigkeit der Radialkraft von $r$ , $m$ und $T$
Stoffabschnitt Mechanische Arbeit und mechanische Energie (5 Stunden)		
Energiebegriff Zusammenhang von mechanischer Arbeit und Energie Gleichungen für potentielle und kinetische Energie Energieumwandlung und Energieübertragung, Gesetz von der Erhaltung der Energie, Nutzbarkeit der Energie Anwenden des Gesetzes von der Erhaltung der Energie 5 Std.	Energie (Ph 7, 8) Mechanische Arbeit (Ph 7) Gesetz von der Erhaltung der Energie (Ph 7) Energieübertragung in Maschinen (ESP 8) Wärme, thermische Energie (Ph 8) Gesetze und Größen der Kinematik und Dynamik (Ph 9)	Luftpissenbahn Geräte für Freihandexperimente zur Demonstration mechanischer Arbeit und Energieumwandlung sowie -übertragung Knöpfe und Fäden für SE (S)

## Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten

### Kraft als gerichtete Größe, Wechselwirkungsgesetz und Trägheitsgesetz

3 Stunden

In den ersten Stunden der Stoffeinheit werden die Schüler durch eine gründliche Reaktivierung des in den Klassen 6 und 7 behandelten Wissens über Kräfte, Wechselwirkungen und Trägheit in die Dynamik eingeführt. Erweitert wird ihr Wissen und Können durch die Unterscheidung von Teilkräften und resultierender Kraft und durch die Formulierung des Wechselwirkungsgesetzes und des Trägheitsgesetzes. Die Kenntnis dieser Gesetze wird durch die Lösung vielfältiger praxisverbundener Aufgaben gefestigt und somit die schöpferische Anwendung der Gesetze zum Schwerpunkt des ersten Stoffabschnittes.

#### Ziele

Die Schüler

- können Kräfte durch das Angeben von Betrag und Richtung kennzeichnen und kennen die Abhängigkeit der resultierenden Kraft von den Beträgen der Teilkräfte und dem Winkel zwischen diesen;
- kennen das Wechselwirkungsgesetz und das Trägheitsgesetz;
- wissen, daß zur Änderung der Bewegung von Körpern Kräfte erforderlich sind;
- können Vorgänge mit Hilfe des Wechselwirkungsgesetzes und des Trägheitsgesetzes erklären.

#### Unterrichtsmittel

Satz Federkraftmesser

Dauer- und Elektromagnete (Aufbausatz E-Lehre)

Elektronenstrahlröhre

Trägheitspumpe aus SEG Niveaustandsregelung (ESP)

Nachbildung einer Trägheitspumpe (S)

Luftkissentisch und Luftkissenbahn

#### Schwerpunkte des Unterrichts und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung in die Stoffeinheit.** Der Einführungsabschnitt LB, S. 123, und der Motivationsabschnitt LB, S. 124, können als Grundlagen eines einführenden Unterrichtsgesprächs genutzt werden. Durch DE werden Betrachtungen von Fällen unterstützt, bei denen der Betrag der Geschwindigkeit, die Form oder die Bewegungsrichtung eines Körpers durch Kräfte verändert werden. Die physikalische Bedeutung der Kraft wird entsprechend LB, S. 124, reaktiviert, anschließend werden die in den DE nachgebildeten Fälle des Wirkens von Kräften durch Aussagen zu den jeweiligen Wechselwirkungen interpretiert. Es sollen vor allem solche Fälle gewählt werden, die im bisherigen Unterricht nur kinematisch betrachtet wurden. Jetzt wird gefragt, wie die Erscheinungen zustande kommen (z. B. Fall, Wurf). Die DE zur Bewegungsänderung und Formänderung von Körpern können sein:

- Ein Wagen mit einem Stabmagneten wird durch einen Elektromagneten beim Einschalten des Stromes beschleunigt. (Günstig ist es, wenn das Experiment auf dem Polyflux er-

folgt und die Schattenprojektion beobachtet wird.) Das DE ist wirkungsvoll, wenn der Wagen vom Elektromagneten abgestoßen wird. (Zweckmäßig ist ein Elektromagnet mit 250 Wdg. und I-Kern bei etwa 10 V Gleichspannung. Damit sich Stabmagnet und I-Kern nicht berühren, wird zwischen beide ein geeignetes Distanzstück gebracht.)

– Knetmasse wird mit dem Hammer verformt.

– Ablenkung einer rollenden Kugel durch Manipermagneten.

Im LV sollte bei Formänderungen noch auf die Unterscheidung in elastische und plastische Verformung hingewiesen werden. Die ZO soll durch die Frage erfolgen, wie die Gesetze lauten, die den Zusammenhang zwischen Kraft und Bewegungsänderung ausdrücken.

### **Kraft als gerichtete Größe, das Zusammensetzen von Teilkräften, resultierende Kraft.**

Zur Erweiterung des Wissens über Kräfte werden Beispiele erläutert, bei denen die Wirkung einer Kraft von deren Richtung, vom Betrag und eventuell auch vom Angriffspunkt abhängt. Als Schülertätigkeiten sind das Vergleichen der Beträge und Richtungen von Kräften sowie das maßstabgerechte Zeichnen von Kraftpfeilen durchzuführen. An Beispielen ist zu demonstrieren, wie mehrere Teilkräfte in ihrer Wirkung auf einen Körper durch eine resultierende Kraft erfaßt werden können, und das zeichnerische Verfahren (Parallelogramm der Kräfte) ist zu erläutern. Die Erläuterung kann von den Schülern nach Erarbeitung des LB-Abschnittes S. 125 als Schülervortrag gefordert werden. Fertigkeiten im zeichnerischen Zusammensetzen von Kräften sind nicht zu entwickeln, es soll aber deutlich herausgearbeitet werden, wie eine Änderung des Winkels zwischen den Teilkräften die resultierende Kraft beeinflusst. Dazu bietet sich die Nüchbildung des Parallelogramms mit dem Satz ausziehbarer Pfeile und einem Gummifaden an der Hafttafel an. Ein nebengestelltes DE mit dem Satz Federkraftmesser unterstützt die Erkenntnis; abschließend sollten Praxisbeispiele aus der produktiven Arbeit der Schüler und aus der Technik erläutert werden. Bei der Beschreibung von Vorgängen mit den Begriffen Teilkräfte und resultierende Kraft sollen auch das gleichförmige Fahren eines Autos trotz ständig wirkender Antriebskraft sowie das Beschleunigen und Bremsen als Beispiele für das Zusammensetzen von Kräften entgegengesetzter Richtungen (Reibungskraft, Antriebskraft) vorkommen. Die Beispiele sollen durch die Aussage zusammengefaßt werden, daß an Körpern stets Kräfte angreifen, jedoch oft der Eindruck entsteht, es würde keine Kraft angreifen, weil die resultierende Kraft  $F_R = 0$  ist. Es wird vereinbart, daß mit der Aussage „keine Kraft“ gemeint ist, die resultierende Kraft ist gleich Null. Ein Hinweis auf die „Hühner der Witwe Bolte“ bzw. die Fabel von Krylow über Schwan, Krebs und Ameise kann die Vereinbarung noch weiter veranschaulichen.

**Zerlegen einer Kraft, Wechselwirkungsgesetz.** Bei vielen Vorgängen läßt sich durch die Analyse der jeweils wechselseitig aufeinander einwirkenden Körper auch die Problematik des Zerlegens einer Kraft als Frage nach den Kräften, die das Gleichgewicht herstellen, motivieren.

Das Zerlegen einer Kraft wird aus dem Zusammensetzen entwickelt, damit die Schüler nicht annehmen, Zerlegen und Zusammensetzen von Kräften seien völlig verschieden voneinander.

Die Problemstellung kann durch folgendes Experiment erfolgen: Heben einer Schülertasche mit zwei Federkraftmessern. Deutlich sichtbar wird, daß für die gleiche resultierende Kraft bei größerem Winkel sehr viel größere Einzelkräfte erforderlich sind. Auf die ASAO im Bauwesen (Heben von Lasten mit Seilen: Winkel zwischen den Seilenden max.  $120^\circ$ ) kann hingewiesen werden. Als weiteres Beispiel zum Diskutieren der praktischen Bedeutung des Zusammensetzens/Zerlegens von Kräften ist geeignet: Die Reißfestigkeit eines Fadens wird gemessen, dann wird gezeigt, daß der Faden als „Leine“ gespannt bei einer sehr viel geringeren Belastung zerreißt. Bei diesem Beispiel soll auch auf das Spannen von

Überlandleitungen (daß sie immer – auch im Winter – „durchhängen“ müssen) eingegangen werden.

Die Wirkung je einer Kraft auf beide Körper wird in Anlehnung an DE aus der Einführungsstunde erläutert.

Die Versuchsbedingungen werden dazu so abgewandelt, daß nun zwei gleiche Körper wechselseitig aufeinander einwirken;

– Zwei Wagen mit Stabmagneten, abstoßend zusammengebunden, beim Durchbrennen des Fadens bewegen sich beide Wagen beschleunigt. (Auf Polylux ausführen, zur Stabilisierung ist eine Fadenschlinge zu empfehlen.)

– Aus Knetmasse wird ein „Hammer“ geformt, beim Schlagen verformen sich „Hammer“ und „Werkstück“.

Die Gleichheit der Beträge beider Kräfte kann bei einer Durchführung des Abstoßungs-experiments auf der Luftkissenbahn entsprechend LB, S. 127, aus den gleichen Weglängen gefolgert werden. Dazu ist aber ein optimaler Aufbau der Bahn und ein gutes Austarieren der Schwebekörper Voraussetzung.

Um den Bezug zu Alltagserfahrungen herzustellen, sollen die Schüler eigene Beobachtungen beschreiben.

Für die Beschreibung der Wechselwirkung sind folgende Beispiele geeignet!

– Wechselwirkung zwischen Stator und Rotor eines Elektromotors, z. B. beim Einschalten eines Handstaubsaugers oder einer Handbohrmaschine.

– Rückstoß beim Abfeuern von Schußwaffen.

Durch ein DE mit zwei Federkraftmessern kann das wechselseitige Einwirken zweier Körper nachgebildet werden (als Zug- oder Druckkraftmesser möglich).

Im Zusammenhang mit dem Erklären von Vorgängen muß betont werden, daß niemals nur eine einzige Kraft beim wechselseitigen Einwirken von Körpern auftritt. Auf die Gleichgewichtsbedingungen (scheinbare Kräftefreiheit – es wirken nur innere Kräfte) kann hingewiesen werden.

Abschließend wird durch die Aufgaben im LB, S. 127, verdeutlicht, daß oft nur die Kraft auf einen der beteiligten Körper deutlich erkennbare Wirkungen zeigt, stets aber beide Kräfte auftreten. Die Vereinbarung, daß oft nur eine der auftretenden Kräfte betrachtet wird (speziell dann, wenn die andere Kraft an der Erde bzw. an einem star mit der Erde verbundenen Körper angreift), soll deutlich gemacht werden.

**Trägheitsgesetz.** Durch Demonstration der Wirkung der Trägheit von Körpern soll das bereits bekannte Wissen der Schüler aus Klasse 6 reaktiviert werden. Im Mittelpunkt steht die Eigenschaft der Körper, einer Bewegungsänderung einen Widerstand entgegenzusetzen. Bei der Erarbeitung des Trägheitsgesetzes wird folgende Systematik empfohlen:

1. Zur Alltagserfahrung der Schüler gehört, daß ruhende Körper „von allein“ (d. h., ohne Einwirkung einer resultierenden Kraft) in Ruhe bleiben. An Beispielen wird diskutiert, daß auch an ruhenden Körpern Kräfte angreifen, die resultierende Kraft jedoch Null ist.
2. Danach wird wiederholt, daß eine beschleunigende Kraft notwendig ist, um einen Körper aus der Ruhe in Bewegung zu bringen. Dies ist den Schülern aus Klasse 6 und Klasse 7 bekannt.
3. Anschließend wird die Frage gestellt, ob Körper „von allein“ in Bewegung bleiben können. Auf Grund ihrer Alltagserfahrung werden die Schüler nicht nur richtige Antworten geben, sondern auch meinen, daß eine Kraft zur Aufrechterhaltung der Bewegung eines Körpers notwendig sei. Widersprüche in den Schülerantworten sollen bewußt für eine problemhafte Unterrichtsgestaltung genutzt werden. Um die Schüler zur Erkenntnis des Trägheitsgesetzes zu führen, ist es jetzt ratsam, zu diskutieren, wodurch ein Körper aus der Bewegung zur Ruhe kommt. Beispiele für das Wirken von Bremskräften kennen die

## Trägheitsgesetz

Trägheit bedeutet Beharrungsvermögen

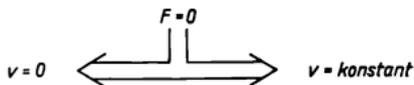


Körper bleiben  
in Ruhe,

wenn keine Kraft auf sie wirkt.



Körper bewegen sich  
geradlinig gleichförmig,



Zur Änderung der Bewegung eines Körpers ist eine Kraft notwendig.

Bild 29  
Tafelbild  
zum Trägheitsgesetz

Schüler aus dem Alltag. Davon ausgehend wird erörtert, wie sich die bewegten Körper bei Verringerung und Aufhebung der Bremskräfte verhalten.

Die Erarbeitung des Trägheitsgesetzes ist in enger Verbindung zu Beispielen und Experimenten zu gestalten (z. B. Eislauf, Abstumpfen bei Glätte, Experimente mit Luftkissenbahn). Für die Erziehung der Schüler ist besonders wichtig, herauszuarbeiten, daß Galilei die 2000 Jahre lang anerkannte falsche Erklärung für den Zusammenhang von Kraft und Bewegung anzweifelte und seine richtige Erkenntnis gegen die Auffassung von Aristoteles durchsetzte. Das Tafelbild (Bild 29) ist schrittweise zu entwickeln. Es stellt ein Muster für empirisch erarbeitete Gesetze in qualitativer Formulierung dar.

Als weitere Beispiele für Wirkungen des Trägheitsgesetzes sind Experimente mit Werkzeugen (z. B. Hammer auf Stiel befestigen) und Schüttelvorgänge geeignet. Dabei sind die Schüler auch darauf hinzuweisen, daß die Aussage im Trägheitsgesetz „keine Kraft wirkt“ eine Idealisierung ist, weil im Realfall stets (sehr geringe) Kräfte (kurzzeitig) wirken,  $F_r = 0$ .

Eine empfehlenswerte technische Anwendung für das Trägheitsgesetz ist die Trägheitspumpe. Sie war ein Unterrichtsmittel im Fach ESP (SEG Niveaustandsregelung). Die Pumpe besteht aus einem Plastikgehäuse, in dem die Spule durch ein magnetisches Wechselfeld (16 V Wechselspannung) ein dünnes Eisenrohr mit Klappventil zum Schwingen bringt. Folgender methodischer Weg wird empfohlen (Abstraktionsreihe):

– Demonstrieren des Pumpens (dazu muß die Pumpe unter dem Niveau des Wasserspiegels liegen)

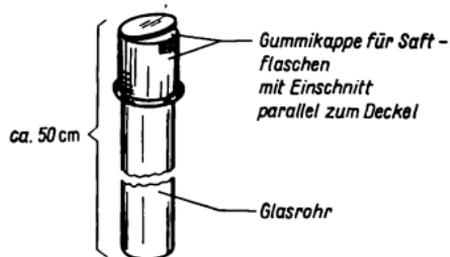


Bild 30  
Zum Selbstbau einer Trägheitspumpe

- Auseinandernehmen der Pumpe (Plaststutzen abziehen)
- Nachbilden des Pumpenmechanismus durch ein Modell, bestehend aus einem dicken Glasrohr mit selbstgefertigtem Klappventil
- Anfertigen einer schematischen Tafelzeichnung des Modells (Bild 30)
- Demonstrieren des Pumpens mit dem Modell
- Erklären der Wirkungsweise mit dem Trägheitsgesetz (am Modell und an der Zeichnung).

An Hand geeigneter Beispiele (u. a. Kippen, Befestigen von Lasten auf Fahrzeugen) ist den Schülern deutlich zu machen, daß in der Praxis (und auch im Unterricht) häufig solche Fälle von Bedeutung sind, bei denen Änderungen der Bewegung beabsichtigt werden und folglich die erforderliche Kraft aufgebracht werden muß. Es ist der Hinweis angebracht, daß auf die Ladung von Fahrzeugen die zur Bewegungsänderung notwendige Kraft nur bei ausreichender Befestigung übertragen wird. In die Beispiele soll auch die Bewegung der Elektronen in einer Elektronenstrahlröhre einbezogen werden.

Die Aufgaben 2, 3, 4, LB, S. 130, sollten abschließend gelöst werden. Aufg. 1 ist als HA geeignet, wenn die „Experimentieranordnung“ mit einfachen Mitteln aus dem Haushalt (z. B. Glas, Spielkarte, Münze) entwickelt wird.

## *Newton'sches Grundgesetz*

3 Stunden

(Variante A)

Die Erarbeitung des Grundgesetzes erfolgt schrittweise, ausgehend von der Feststellung, daß ein bewegbarer Körper durch eine konstante Kraft in Richtung dieser Kraft gleichmäßig beschleunigt wird. Aus Erfahrungen mit der Trägheit werden Vermutungen bezüglich des Zusammenhanges von Kraft, Masse und Beschleunigung formuliert, die dann schrittweise experimentell geprüft werden und im Ergebnis der Experimente als Proportionalitäten  $a \sim F$  und  $a \sim 1/m$  erkannt werden. Es folgt die Zusammenfassung zur Gleichung, die Interpretation der Kräfteinheit 1 N und die Anwendung des Newtonschen Grundgesetzes auf die Gewichtskraft.

(Variante B)

Das Newtonsche Grundgesetz wird mitgeteilt und interpretiert. Zu den Proportionalitäten werden Bestätigungsexperimente geplant und durchgeführt, es folgen einfache Übungen im Berechnen von  $F$ ,  $a$  und  $m$ , die Einheit 1 N wird interpretiert und der Zusammenhang zwischen Gewichtskraft und Masse erläutert.

### **Ziele**

Die Schüler

- kennen das Newtonsche Grundgesetz und können es in Form von Proportionalitäten, Diagrammen und mit Worten ausdrücken;
- können die Kräfteinheit 1 N auf Basiseinheiten zurückführen;
- wissen, daß die Gewichtskraft in Erdnähe durch  $F_G = m \cdot g$  berechnet werden kann;
- gewinnen vertiefte Einsichten über die Bedeutung des Experimentes in der Physik.

## Unterrichtsmittel

Luftkissenbahn  
BM 1 und Demomeßgerät

## Schwerpunkte des Unterrichts und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

(Variante A)

**Trägheit bei beschleunigten Bewegungen.** Die Trägheit von Körpern wird als Widerstand (bewegungshemmend bzw. bewegungserhaltend) gegen Bewegungsänderungen interpretiert. Ausgangspunkt ist die Demonstration von Trägheitsexperimenten, die als Ergebnis der HA, Aufg. 1, S. 130, vorgeschlagen werden. Die Aufgabe 1, LB, S. 131, kann genutzt werden, um den Blick auf die bewegungsändernde Kraft zu orientieren. Weitere Beispiele sollen deutlich machen, daß es nicht ausreicht, nur Kraft und Beschleunigung zu betrachten.

Die Beispiele sollen sowohl auf einfache Experimente Bezug nehmen, als auch technische Probleme der Kraftübertragung von den Antriebs- zu den Arbeitsorganen von Maschinen zum Inhalt haben. Am Beispiel massereicher Körper (z. B. Güterzug, Lkw) ist herauszuarbeiten, daß die für beabsichtigte Bewegungsänderungen erforderlichen Kräfte von der Masse abhängen. Auf Gefahren im Straßenverkehr (lange Bremswege bei verminderter Reibungskraft) sowie Alltagserfahrungen soll eingegangen werden, damit die Aussage über die Trägheit als Widerstand gegen Bewegungsänderungen auf eine sichere Erfahrungsgrundlage gestützt ist. Die Masse wird wiederholend als Größe betrachtet, die angibt, wie träge ein Körper ist.

**Erarbeitung des Newtonschen Grundgesetzes.** Experimente sollen deutlich machen, daß ein bewegbarer Körper durch eine konstante Kraft in Richtung dieser Kraft gleichmäßig beschleunigt wird. Dazu sind besonders die im LB, S. 131, 132 geschilderten experimentellen Bedingungen geeignet.

Die Experimentieranordnung, besonders das Messen der Beschleunigung, ist zu erläutern.

Die Erarbeitung des Newtonschen Grundgesetzes soll unter starker Nutzung des LB erfolgen. Das DE dient dazu, den Schülern die Meßmethode, die zu den Ergebnissen (LB, S. 132) führt, zu demonstrieren. Der Zeitaufwand für eine vollständige Durchführung aller notwendigen Messungen ist zu hoch und steht in keinem vertretbaren Verhältnis zum Erkenntnisgewinn der Schüler. Wichtig ist jedoch, daß durch Auswerten der Diagramme von den Schülern die Proportionalitäten  $a \sim F$  ( $m = \text{konst.}$ ) und  $a \sim 1/m$  ( $F = \text{konst.}$ ) erkannt werden. Zur Bestätigung werden einige Quotienten  $F/a$  sowie Produkte  $m \cdot a$  aus den Meßwerten, LB, S. 132, berechnet.

Beim Interpretieren des Newtonschen Grundgesetzes wird auch auf die Möglichkeit der dynamischen Kraftmessung ( $F \sim a$ ) in der Weise geschlossen, daß eine bestimmte Beschleunigung Kennzeichen für eine bestimmte wirkende Kraft ist. Diese Erkenntnis kann durch die Aufgabe 2, LB, S. 136, vertieft werden.

Die Aussagen über mögliche Beschleunigungen bei bestimmter Kraft und Masse müssen unbedingt durch die zum Erreichen einer Geschwindigkeit notwendige Zeit des Einwirkens der Kraft ergänzt werden. Hier kann auch nochmals eine Beziehung zur Trägheit von Körpern hergestellt werden, bei denen trotz erheblicher Kraft und Beschleunigung kaum merkliche Geschwindigkeitsänderungen  $\Delta v = a \cdot \Delta t$  auftreten, wenn die Einwirkungszeit  $\Delta t$  zu klein ist.

Bei einer Klasse mit hohem Leistungsstand ist auch eine erste Anwendungsaufgabe für SSA oder als HA möglich. Geeignet sind die Aufgaben 2, 3, 6, 7, LB, S. 133.

(Variante B)

Bei dieser Variante kommt es darauf an, die Aussagen des Newtonschen Grundgesetzes vielseitig zu interpretieren. Es eignen sich Erfahrungsberichte aus dem Sport, um eine große Praxisnähe zu gewährleisten.

Die Planung von Bestätigungsexperimenten kann wirkungsvoll durch selbständige Arbeit mit dem LB, S. 132, unterstützt werden. Hervorzuheben ist, daß Newton das Grundgesetz der Dynamik aus prinzipiellen Überlegungen folgerte, eine genaue experimentelle Prüfung aber erst durch die moderne Meßtechnik möglich wurde.

Die Erläuterung der Festlegung von 1 N als Kräfteinheit leitet zu Übungen im Berechnen von  $F$ ,  $m$  und  $a$  über. Geeignete Aufgaben sind im LB, S. 135, Aufg. 1 bis 4. Die Lösungsbeispiele im LB, S. 134 bis 135, können als Vorbereitung auf selbständiges Arbeiten genutzt werden.

(Fortsetzung für beide Varianten)

**Zur Vorbereitung eines Schülervortrages über Leben und Werk Newtons.** Als Gliederung des Schülervortrags sind folgende Schwerpunkte zu empfehlen:

– Gründe für den Fortschritt der Naturwissenschaft in England während des 17. Jahrhunderts

– Leistungen Newtons in der Mechanik

– Bedeutung der Erkenntnisse Newtons für das physikalische Weltbild.

Der Schülervortrag soll terminlich in die folgende thematische Einheit eingeordnet werden. Termin und Literaturhinweise sind den Schülern mitzuteilen (Geeignet ist LB, S. 137 bis 138).

**Anwendung auf Gewichtskräfte.** Einleitend ist eine Aufgabe zur Berechnung der Beschleunigung bei gegebener Masse und Kraft zu lösen, geeignet ist Aufg. 3, LB, S. 135. Daraus läßt sich die Frage ableiten, wie bei Vergrößerung der Masse eine konstante Beschleunigung erreicht werden kann – die Antwort leitet zu der Aussage über, daß bei Fallbewegungen wegen der mit größerer Masse proportional größeren Gewichtskraft stets eine konstante Beschleunigung existiert. Zur Demonstration der Unabhängigkeit der Fallbeschleunigung von der Masse kann auf Experimente zum freien Fall zurückgegriffen werden, z. B. Vergleichen der Fallzeiten eines Körpers und eines zweiten Körpers doppelter Masse bei gleichen Fallwegen. Wenn eine Fallröhre vorhanden ist, kann auch diese eingesetzt werden. Im Vordergrund steht aber die Berechnung der Gewichtskraft in Erdnähe mit der Gleichung  $F_G = m \cdot g$ .

Im folgenden Unterrichtsabschnitt wird zwischen Gewichtskraft und Auflagekraft unterschieden. Erfahrungsbeispiele über das Erleben von scheinbaren Änderungen der Gewichtskraft im Personenaufzug und ein Bericht über das Training von Raumschiffbesatzungen in Flugzeugen, die auf einer besonderen Flugbahn ebenfalls eine sehr große Gewichtskraftveränderung erfahren, wird durch Experimente unterstützt.

Die Abhängigkeit der Auflagekraft von der Bewegung wird mit dem am bewegten Federkraftmesser hängenden Hakenkörper (Freihandversuch) gezeigt. An dieser Stelle können die Schüler auf die enorme Auflagekraft (Andruckkraft) beim Start von Raumschiffen hingewiesen werden.

Die Demonstration, daß beim gemeinsamen freien Fall eines Körpers mit seiner Unterlage die Auflagekraft Null wird, soll durch einen Bericht über Gewichtslosigkeit bzw. „Schwerelosigkeit“ in Raumschiffen ergänzt werden. Der mißverständliche Begriff „Schwerelosigkeit“ soll diskutiert werden.

Geeignete Aufgaben zur Festigung sind im LB, S. 137, Aufg. 4 und 5.

## Ziele

Die Schüler

- können die Gesetze der Dynamik zum Lösen von Aufgaben sicher anwenden und mit den Gesetzen Vorgänge erklären;
- systematisieren ihr Wissen über die Gesetze und erkennen, daß das Trägheitsgesetz als Sonderfall im Newtonschen Grundgesetz enthalten ist;
- bereiten sich zielstrebig auf eine schriftliche Leistungskontrolle vor.

## Unterrichtsmittel

Fo:  $a$ - $F$ -Diagramm (S) (Bild 31)

Fo:  $a$ - $m$ -Diagramm (S) (Bild 32)

Dünne Holzleiste oder Pappe, Wurfkörper (S)

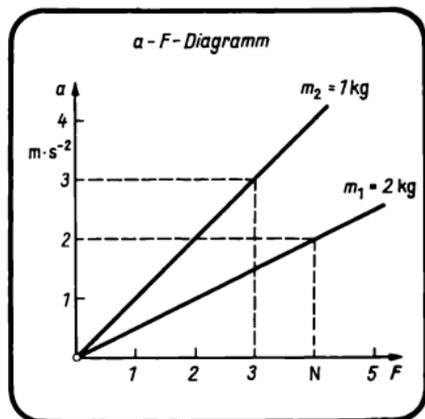


Bild 31  $a$ - $F$ -Diagramm (Folie)

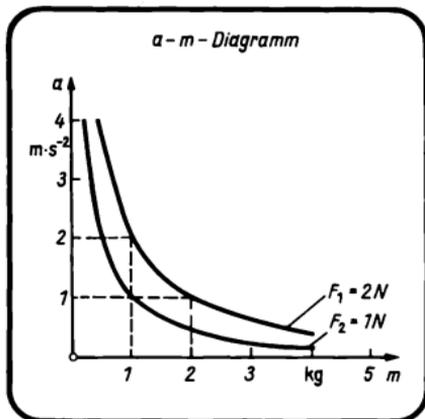


Bild 32  $a$ - $m$ -Diagramm (Folie)

## Schwerpunkte des Unterrichts und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Anwendung der Gesetze.** Die Auswahl der Aufgaben ist so vorzunehmen, daß ein vielseitiger Methodenwechsel erfolgt. Neben LB-Aufgaben kann die USF „Anwendung der Gesetze der Dynamik in der Praxis“ eingesetzt werden. Weiterhin ist zu empfehlen, auch eine neue experimentelle Situation zu gestalten, die die Anwendung der Gesetze beim Erklären erfordert. Dazu wird z. B. in einem DE die enorme Kraft beim plötzlichen Abbremsen eines Körpers demonstriert (Bruch einer Leiste oder Pappe durch einen geworfenen Körper). Eine Abschätzung der auftretenden Kraft ist durch ein Vergleichsexperiment möglich, bei dem die erforderliche Kraft mit einem Federkraftmesser gemessen wird.

Zu diskutieren ist, daß die große Kraft beim Abbremsen wegen  $F = m \cdot a$  durch die sehr große Beschleunigung (Geschwindigkeitsänderung in sehr kurzer Zeit) auftritt, also auch

bei geringer Masse eines geworfenen Körpers eine große Kraft wirkt. Mit dem Wechselwirkungsgesetz wird die Zerstörung der Holzleiste (in der Alltagserfahrung oft Fensterscheiben) und mit dem Trägheitsgesetz das Weiterfliegen des Körpers bei Wegfall der bremsenden Kraft erklärt.

Ein Vergleich der im DE aufgetretenen Kraft mit der beim Aufprall eines Menschen bei einem Verkehrsunfall ist wegen  $F = m$  leicht möglich. Die Wirkung eines Sicherheitsgurtes kann nun mit der durch die Dehnung des Gurtes erreichten Vergrößerung der Bremszeit, also geringerer Beschleunigung und Kraft, erklärt werden (LB, S. 136).

**Systematisierung.** Hier kann die Zusammenfassung im LB, S. 143, genutzt werden. Die Herstellung des Zusammenhanges zwischen dem Newtonschen Grundgesetz und dem Trägheitsgesetz wird durch LB, S. 134, unterstützt. Zur Interpretation des Newtonschen Gesetzes ist die Anfertigung von Folien (Bilder 31 und 32) zu empfehlen. Beim Interpretieren der Gleichung  $a = F/m$  steht die Abhängigkeit der Beschleunigung von  $F$  und  $m$  im Mittelpunkt.

Die Arbeit mit dem Diagramm soll so gestaltet werden, daß die Schüler aus den Folien die Zusammenhänge zwischen  $F$ ,  $a$  und  $m$  ablesen und sowohl qualitativ als auch quantitativ interpretieren.

**Vorbereitung der schriftlichen Leistungskontrolle.** Entsprechend der Klassensituation und der Förderung von Schülern wählt der Lehrer weitere geeignete Aufgaben aus (z. B. LB, S. 137, Aufg. 1, 2).

Für die Vorbereitung der schriftlichen Leistungskontrolle sollen den Schülern auch jene Inhalte genannt werden, die in den vorangegangenen Stunden nicht geübt wurden (z. B. maßstabgerechtes Darstellen von Kräften, Planen und Beschreiben von Experimenten).

## *Kreisbewegung*

3 Stunden

In diesem Stoffabschnitt wird den Schülern der universelle Charakter der Gesetze der Kinematik und Dynamik durch die Beschreibung und Erklärung der Kreisbewegung bewußt gemacht. Die Kreisbewegung ist dabei als geeignetes Beispiel für die Untersuchung solcher Bewegungen zu interpretieren, bei denen sich die Bewegungsrichtung ändert, da eine Kraft(-komponente) senkrecht zur Bewegungsrichtung auftritt. Diese Radialkraft wird für gleichförmige Kreisbewegungen durch eine Gleichung angegeben, das Interpretieren der Zusammenhänge erfolgt aber so, daß die Beeinflussung der Radialkraft durch Änderungen der Größen  $m$ ,  $r$ ,  $T$  bzw.  $v$  im Vordergrund steht.

Den Schülern ist bewußt zu machen, daß bei der Behandlung der Kreisbewegung stets bereits bekanntes Wissen angewendet wird, daß dieser Stoffabschnitt also vorwiegend Übungs-, Systematisierungs- und Festigungscharakter besitzt. Das ist sowohl durch die Gestaltung vielfältiger selbständiger Schülertätigkeiten als auch durch eine vorwiegend praxisorientierte Auswahl der Beispiele und Experimente erlebbar zu machen.

### **Ziele**

Die Schüler

- wissen, daß bei gleichförmigen Kreisbewegungen eine Kraft in Richtung des Zentrums (Radialkraft) wirkt und können begründen, daß es sich um beschleunigte Bewegungen handelt;

- wissen, daß die Gleichungen für die Radialkraft Sonderfälle des Newtonschen Grundgesetzes sind; sie können die Gleichungen interpretieren und zum Lösen von Aufgaben anwenden;
- systematisieren ihr Wissen über Bewegungen und festigen es durch Anwendung der Kenntnisse auf die Kreisbewegung;
- erlangen vertiefte Einsichten in die Bedeutung der Physik durch Analyse, Beschreibung und Erklärung vielfältiger Beispiele aus der gesellschaftlichen Praxis und Produktion.

## Unterrichtsmittel

Knetmasse (S)	Universalexperimentiermotor
Drehbarer Schwamm (S)	Radialkraftwaage

## Schwerpunkte des Unterrichts und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Experimente zur Interpretation der Gleichung.** Als Einführungsexperimente sind geeignet: 1. Knetmasse ist an einem Faden befestigt. Die Drehzahl wird solange erhöht, bis sich die Knetmasse löst (Freihandexperiment).

2. Ein Stück Knetmasse wird am Haken einer Schraubenfeder befestigt und in Kreisbewegung versetzt. Die Schüler erkennen deutlich die Dehnung der Feder (Freihandexperiment).

Zur Unterstützung der Erkenntnis, daß Drehbewegungen Kreisbewegungen einer Vielzahl von Massepunkten mit unterschiedlichen Radien sind, ist ein Experiment mit einer Drehscheibe geeignet.

Das DE wird vorbereitet, indem auf einer Drehscheibe (z. B. Riemenscheibe) in verschiedenem Abstand zum Drehpunkt Kügelchen aus Knetmasse befestigt werden. Bei Erhöhung der Drehzahl erkennt man deutlich, daß die äußeren Kügelchen früher wegfliegen als die inneren. Als Beispiel für physikalisch begründete Arbeitsschutzvorschriften können Sicherheitsvorrichtungen bei Schleifmaschinen angeführt werden. Wichtig ist aber auch, daß die Schüler die an ihrem konkreten Arbeitsplatz bei der PA geltenden Vorschriften in das UG einbringen.

Erfahrungsbeispiel „Wäscheschleuder“: Ein leicht angefeuchteter Schwamm wird mit dem Experimentiermotor in Drehbewegung versetzt. Zu beobachten ist die Zentrifugewirkung bei Drehzahlerhöhung, der LB-Abschnitt S. 142 kann zur Unterstützung genutzt werden.

Quantitative Zusammenhänge: Hierfür eignen sich die Experimente mit der Radialkraftwaage PSV 1/2 V 6.1.1. bis V 6.1.5.

Bei der Interpretation der Gleichung  $F = \frac{m \cdot v^2}{r}$  ist auf die Erklärung notwendiger Kräfte bei Kurvenfahrten ( $F \sim v^2$  bei  $r = \text{konst.}$ ) einzugehen.

Die Schüler sind darauf hinzuweisen, welchen Vorteil die eine oder die andere Gleichung für die Berechnung der Radialkraft hat. Der Schwerpunkt liegt dabei auf folgenden Aussagen:

1.  $F = f(v)$ : günstig für Kreisbewegungen, bei denen die Bahngeschwindigkeit wichtig ist (Kurvenfahrten mit verschiedenen Geschwindigkeiten).

2.  $F = f(T)$ : günstig für Kreisbewegungen, bei denen die Umlaufzeit wichtig ist (auch Drehbewegungen).

Die qualitativen Aufgaben im LB, S. 142, können durch einfache Knetmasse-Faden-Experimente auch im DE veranschaulicht werden (verschiedene große Knetmassenstücke an gleichlangen Fäden, beim Kreisen rutscht die Kugel mit der größeren Masse früher ab).

Die Aufgabe 3, LB, S. 143, eignet sich sehr gut, Merkmale der Kreisbewegung nochmals abschließend zu charakterisieren.

Für eine senkrechte Bahnebene muß  $v$  mindestens so groß sein, daß  $F_t > F_G$  ist. Bei waagerechter Bahnebene tritt bei zu geringer Bahngeschwindigkeit zwangsläufig eine Verringerung des Bahnradius auf – hier bietet sich ein Hinweis auf das Wattsche Pendel (Drehzahlstabilisator) bzw. automatische Zündzeitpunktverstellung für Ottomotoren (Moped) an. Ein einfacher Freihandversuch mit Faden und Knetmasse ist zur Unterstützung des UG zu empfehlen.

In die Interpretation der Zusammenhänge sind auch quantitative LB-Aufgaben S. 140 und 143 einzubeziehen.

**Systematisierung und Übung.** Die Planung des Stoffabschnittes soll so angelegt werden, daß mindestens eine Stunde für eine umfassende Systematisierung und Übung zur Verfügung steht.

Bei der Vorbereitung auf die Systematisierung und Übung sollen die Schüler Stichpunkte zur Lösungsplanung anfertigen, ungeklärte Fragen sammeln, Lösungen einzelner Aufgaben auf Folien vorbereiten. Die Aufgaben sollen differenziert nach dem Leistungsvermögen der Schüler erteilt werden. Als Grundlage für die Erteilung differenzierter Aufträge ist es günstig, die Fehleranalyse schriftlicher Leistungskontrollen mit heranzuziehen.

Die Systematisierungsstunde muß so gestaltet werden, daß noch vorhandene Lücken im Wissen und Können der Schüler weitgehend geschlossen werden und ein zusammenfassender Überblick über die Dynamik erarbeitet wird. Einige Schwerpunkte der Stunde können sein:

- Arbeiten mit der Übersicht im LB, S. 143
- Vortragen von Lösungsplänen zu einigen Aufgaben (LB, S. 155)
- Erläutern von Lösungsbeispielen (durch leistungsstarke Schüler auf Folien angefertigt)
- Diskutieren von Problemstellungen (z. B. LB, S. 155, Aufg. 3, 8)
- Schüler stellen vorbereitete Fragen zu ausgewählten Aufgaben, die durch andere Schüler beantwortet werden
- Nennen und Diskutieren von Beispielen zur Kinematik und Dynamik aus der Elektrizitätslehre (z. B. Kräfte im magnetischen Feld, Bewegung von Elektronen in der Elektronenstrahlröhre)
- Werten der klassischen Mechanik und Würdigen von Galilei und Newton
- Erläutern militärtechnischer Anwendungen (z. B. Erlebnisbericht bzw. Auswertung von Beispielen aus der Militärpresse)

## *Mechanische Arbeit und mechanische Energie*

5 Stunden

### **Ziele**

Die Schüler

- kennen die physikalische Bedeutung der Begriffe mechanische Arbeit sowie mechanische, potentielle und kinetische Energie;
- kennen die Gleichungen für potentielle und kinetische Energie und das Gesetz von der Erhaltung der Energie bei mechanischen Vorgängen und können die Gleichungen interpretieren und anwenden;
- können Umwandlungen mechanischer Energie beschreiben und die Nutzbarkeit der dabei auftretenden Energieformen erläutern;

- können das Gesetz von der Erhaltung der Energie zum Erklären von Vorgängen, zum Herleiten von Gleichungen und Berechnen physikalischer Größen anwenden;
- erkennen die Bedeutung des Energiebegriffes für das Verständnis von Natur und Technik

## Unterrichtsmittel

### Luftkissenbahn

Geräte für Freihandexperimente zur Demonstration mechanischer Arbeit und Energieumwandlung sowie -übertragung

Knöpfe und ca. 1 m lange Fäden für SE (S)

Hinweis: Für ein SE zur periodischen Energieumwandlung kann das „Knopfspiel“ genutzt werden. Zur Vorbereitung müssen rechtzeitig große Knöpfe mit mindestens zwei Löchern nach Anzahl der Schülergruppen (eventuell auch für jeden Schüler) bereitgestellt werden. Der Lehrer sollte die Schüler beauftragen, Knöpfe von mindestens 30 mm Durchmesser zur nächsten Stunde mitzubringen. Wenn er von jedem Schüler 2 Knöpfe erbittet, dann müßte die Anzahl der Knöpfe ausreichend sein – auch wenn nicht alle Schüler einen entsprechenden Knopf im Haushalt finden.

Außerdem muß noch ein Stern Handzwirn besorgt werden.

## Schwerpunkte des Unterrichts und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung und Reaktivierung.** Ein auf LB, S. 153, gestützter LV gibt die Motivation für den Stoffabschnitt. Es sollten dabei auch territorial oder aktuell bedeutsame Fragen angesprochen werden.

Die Reaktivierung von Wissen über die physikalische Bedeutung der mechanischen (kinetischen, potentiellen) Energie und die Einheit der Energie ist zweckmäßig durch selbständige Arbeit mit dem LB, S. 144, 145, zu sichern. Einfache DE sollen im folgenden Unterrichtsgespräch die Erläuterung solcher Vorgänge, bei denen durch mechanische Arbeit die mechanische Energie von Körpern verändert wird, veranschaulichen.

**Herleitung der Gleichungen für  $E_{\text{pot}}$  und  $E_{\text{kin}}$ .** Die Herleitung der Gleichungen ist als weiteres Beispiel für die theoretische Erarbeitung von Gesetzen zu gestalten. Dazu sollte eine Gleichung in SSA und die andere im LV erarbeitet werden, wesentlich ist das Anwenden der Aussagen über Bezugskörper auf Erfahrungsbeispiele.

**Energieumwandlungen.** Das Beschreiben von Beispielen für Energieumwandlung und -übertragung soll das Verständnis für Vorgänge in Natur und Technik fördern und zur Formulierung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie bei mechanischen Vorgängen hinführen.

Zum Abschluß der Betrachtungen kann anhand des LB-Aufgabenbeispiels S. 147 die Problematik des Speicherns von Energie (Pumpspeicherwerk) diskutiert werden. Aufgaben zur Berechnung von potentieller und kinetischer Energie sollten als HA gestellt werden.

Als DE ist die Energieumwandlung beim Pendel geeignet, da für eine erhebliche Zeit auch die Energieerhaltung zu erkennen ist. Zur Energieübertragung kann mit gekoppelten Pendeln gleicher Länge gearbeitet werden; es geht dabei aber um die Beobachtung der Energieübertragung, nicht um deren Erklärung.

Ein SE zur periodischen Energieübertragung kann folgendermaßen durchgeführt werden (Bild 33):

Herrichten des „Gerätes“ (nach Muster und mündlicher Anleitung). LV zu den auftretenden Energieformen  $E_{\text{kin}}$  (als Rotationsenergie) und  $E_{\text{pot}}$  (als Spannungsenergie), Vorführen der periodischen Energieübertragung und Energieumwandlung als DE – Durchführen als SE. Erklären der notwendigen Energiezufuhr zur Kompensation des „Energieverlustes“ im UG, Hinweisen auf mechanische Spielzeuge (z. B. „Jo-Jo“) und technisch sowie ökonomisch bedeutsame Energieumwandlungen (z. B. Pumpspeicherwerk).

Nach einmaligem Eindrehen des Fadens (Handzwirn) wird periodisch gestrafft und wieder gelockert, der Knopf dreht sich und wirkt als ein Energiespeicher (Rotationsenergie), der andere Energiespeicher ist der durch das Verdrillen elastisch gespannte Faden (Bild 33)

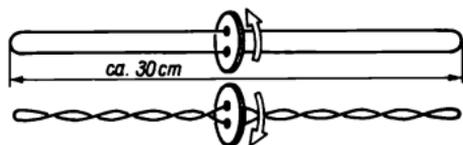


Bild 33  
Experimentieranordnung

**Gesetz von der Erhaltung der Energie.** Das im LB, S. 150, ausführlich beschriebene Beispiel kann zur Grundlage der Formulierung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie verwendet werden. Es bietet eine genügend umfangreiche Wertetabelle und ermöglicht so eine sehr konkrete Erarbeitung, auch selbständige Arbeit mit dem LB ist möglich. Zur Festigung sind die Aufgaben 1, 2, 3, LB, S. 150, geeignet. Zur Aufgabe 2 ist ein DE mit einem gedämpft schwingenden Pendel geeignet, die Beobachtungen und die Erklärung sollten im Tafelbild dargestellt werden.

Das Ziel des DE ist der Nachweis der Abnahme der mechanischen Energie. Dieser Nachweis erfolgt für die potentielle Energie über die Höhe des Pendelkörpers im Umkehrpunkt.

Bei der Erörterung der Nutzbarkeit der Energie sind folgende Schwerpunkte zu setzen: Obwohl Energie erhalten bleibt, wird sie „verbraucht“. „Energieverbrauch“ bedeutet, daß Energie in eine Form überführt wird, in der sie nicht in gleichem Maße nutzbar ist wie vorher. Man bezeichnet dies auch als „Energieentwertung“. Elektrische Energie ist besonders gut nutzbar. Die Abgabe von Wärme bei höherer Temperatur an die Umgebung stellt eine größere Energieentwertung dar als die Abgabe von Wärme bei niedriger Temperatur. Rationelle Nutzung der Energie bedeutet auch Gewährleistung einer geringen „Energieentwertung“. Das ist wichtig für die Senkung des Energieverbrauchs und für die Beeinflussung der Umwelt (Senkung der thermischen Belastung und der Verschmutzung durch Verbrennen von Kohle).

Die Schüler sollen die höhere Nutzbarkeit der mechanischen Energie gegenüber der thermischen Energie, die aus mechanischer Energie durch Reibung entsteht, verstehen. Diese thermische Energie ist im Gegensatz zur mechanischen Energie ohne Aufwand nicht zum Verrichten von Arbeit zu nutzen. Die Schüler sollen auch darauf hingewiesen werden, daß die Nutzbarkeit thermischer Energie von der Temperatur des Energieträgers abhängt.

**Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie.** Bei der Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie auf mechanische Vorgänge sind die Schüler stets auf die Gültigkeitsbedingung (Vorgänge ohne Reibung) hinzuweisen und auch darauf, daß  $E_{\text{mech}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} = \text{konstant}$  nur unter idealisierten Bedingungen gilt, in der Praxis aber gute Annäherungen an diese Bedingungen erreichbar sind.

Als Beispiel kann die einer Aufprallgeschwindigkeit von  $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  entsprechende Fallhöhe  $b = 10 \text{ m}$  berechnet werden. Den Schülern ist zu zeigen, daß die Gleichung  $b = \frac{v^2}{2g}$  aus dem Gesetz von der Erhaltung der Energie günstiger als aus den Gesetzen der Kinematik herzuleiten ist.

Die vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeiten im Straßenverkehr sind einerseits wegen der erheblichen Zunahme von Unfallschäden bei hohen Geschwindigkeiten (je größer  $E_{\text{kin}}$ , desto größer ist die bei Unfällen verrichtete Verformungsarbeit), andererseits aus energetischer Sicht (bei gleichen Fahrzeugen sind für größere Geschwindigkeiten auch größere Beschleunigungsarbeiten erforderlich, der Energie- und folglich Treibstoffbedarf wird größer) zu begründen.

Ein DE (am Faden hängendes Massestück anheben und dann fallen lassen) kann die theoretisch erarbeiteten Zusammenhänge veranschaulichen. Man bestimmt zuerst die zum Zerreißen des Fadens erforderliche Kraft (z. B.  $8 \text{ N}$  bei dünnem Zwirn) und läßt dann einen Hakenkörper (z. B.  $100 \text{ g}$ ) mit schrittweise steigender Fallhöhe am Faden reißen. Bei etwa  $0,5 \text{ m}$  Fallhöhe reißt der Faden, da dann die kinetische Energie des Hakenkörpers groß genug ist.

Die Unabhängigkeit der beim freien Fall erreichten Geschwindigkeit von der Masse kann hier nochmals erwähnt und jetzt mit der Gleichung  $v = \sqrt{2g \cdot b}$  begründet werden.

Beim Erklären von Vorgängen sollen die Schüler auch auf folgende Fragen eingehen:

Wo treten ähnliche Vorgänge im täglichen Leben (in der produktiven Arbeit, im Sportunterricht) auf?

Welche Schlußfolgerungen kann (muß) man für das eigene Verhalten ziehen?

## *Gestaltungsvorschläge für eine abschließende Stunde*

Diese Stunde wird überwiegend durch Schülervorträge gestaltet. Der Lehrer greift möglichst wenig in die Darlegungen der Schüler ein, lediglich bei Fehlern oder sehr oberflächlichen Aussagen gibt er gezielte Hilfen. Die Bewertung der Schülerleistungen soll entsprechend den Bewertungskriterien für die mündliche Abschlussprüfung erfolgen, die Zensuren sind entsprechend zu begründen.

### **Stundengliederung**

- (1) Lösen von Aufgaben zu mechanischen Vorgängen (15 min)
- (2) Herleiten eines speziellen Gesetzes (15 min)
- (3) Berechnen einer physikalischen Größe (15 min)

### **Erläuterungen zum Stundenverlauf**

- (1) Geeignete Aufgaben sind: LB, S. 154, Aufg. 1, 2, 3. Unbedingt sollte aber LB, S. 156, Aufg. 13, 14 oder Aufg. 16 diskutiert werden.
- (2) Bei der Herleitung spezieller Gesetze sind unbedingt die Gültigkeitsbedingungen zu nennen. Bei der Erläuterung der Aufgabe 15, LB, S. 156, ist dann die Abweichung in der Praxis zu interpretieren.

**(3)** Beim Berechnen einer physikalischen Größe ist den Schülern neben dem Beispiel LB, S. 156, Aufg. 17 auch zu zeigen, welche Rechenvorteile die Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie gegenüber der Anwendung der Gesetze der Kinematik bringt. Das wird besonders deutlich, wenn die Frage nach der Geschwindigkeit fallender Körper gestellt wird.