

**Physik**

**Klasse 10**

**Unterrichtshilfen**

# Unterrichtshilfen Physik Klasse 10



Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin  
1988

<b>Autoren:</b>	
<b>Volker Abend</b>	<b>Wechselstrom</b>
<b>Dr. Peter Freudenberger</b>	<b>Optik</b>
<b>Prof. Dr. habil. Werner Karsten</b>	<b>Schwingkreis</b>
<b>Dr. Wieland Müller</b>	<b>Kernphysik</b>
<b>Dr. Josef Peter</b>	<b>Mechanische Schwingungen und Mechanische Wellen</b>
<b>Dr. Bernhard Raabe</b>	<b>Gravitation, Gesamtwiederholung und Praktikum</b>
<b>Prof. Dr. sc. Hans-Joachim Wilke</b>	<b>Einleitung, Hertzse Wellen</b>
<b>Leiter des Autorenkollektivs:</b>	<b>Prof. Dr. sc. Hans-Joachim Wilke</b>
<b>Redaktion:</b>	<b>Werner Golm, Bettina Rosenkranz</b>

**Unterrichtshilfen Physik Klasse 10/[Leiter  
des Autorenkollektivs: Hans-Joachim Wilke.]**  
– 1. Aufl. – Berlin: Volk u. Wissen, 1988.  
– 144 S.: Ill.  
NE: Wilke, Hans-Joachim [Mitarb.]

ISBN 3-06-022170-7

**1. Auflage**

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1988

Lizenz-Nr. 203 · 1000/88 (E 02 21 70-1)

Printed in the German Democratic Republic

Schrift: 9/10

Lichtsatz: INTERDRUCK Graphischer Großbetrieb Leipzig – III/18/97

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Grafischer Großbetrieb Völkerfreundschaft Dresden

Zeichnungen: Birgit Werwig

Einband: Erika Kerschner

Typographische Gestaltung: Atelier vvw

Redaktionsschluß: 23. September 1987

LSV 0671

Bestell-Nr.: 709 399 6

00700

# Inhalt

<b>Zu den Zielen, den inhaltlichen und methodischen Schwerpunkten des Physikunterrichts in Klasse 10</b> . . . . .	7
<b>Stoffgebiet Mechanik</b> . . . . .	17
<b>Stoffeinheit Gravitation</b> . . . . .	17
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	17
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	18
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	19
Gravitation . . . . .	19
Gravitationskräfte . . . . .	20
Anwendungen des Gravitationsgesetzes . . . . .	22
<b>Stoffeinheit Mechanische Schwingungen</b> . . . . .	24
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	24
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	25
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	26
Beschreibung einer mechanischen Schwingung . . . . .	26
Periodendauer eines Federschwingers und eines Fadenpendels . . . . .	29
Ungedämpfte, gedämpfte und erzwungene Schwingungen . . . . .	31
Systematisierung und Anwendung . . . . .	32
<b>Stoffeinheit Mechanische Wellen</b> . . . . .	34
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	34
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	35
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	36
Beschreibung mechanischer Wellen und Voraussetzungen für ihr Entstehen . . . . .	36
Ausbreitungseigenschaften mechanischer Wellen . . . . .	40
Festigung und Kontrolle . . . . .	42
<b>Stoffgebiet Elektrizitätslehre</b> . . . . .	45
<b>Stoffeinheit Wechselstrom</b> . . . . .	45
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	45
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	47
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	48
Wechselstrom und Wechselstromkreis . . . . .	48

Induktiver Widerstand und Induktivität . . . . .	51
Kapazitiver Widerstand und Kapazität . . . . .	53
Leistung im Wechselstromkreis und rationelle Übertragung elektrischer Energie durch Wechselströme . . . . .	56
Schriftliche Leistungskontrolle . . . . .	57
<b>Stoffeinheit Schwingkreis</b> . . . . .	58
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	58
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	59
Empfehlungen zur Gestaltung der Stoffeinheit . . . . .	60
<b>Stoffeinheit Hertzsche Wellen</b> . . . . .	64
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	64
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	67
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	68
Entdeckung und Anwendung Hertzscher Wellen, Eigenschaften Hertzscher Wellen . . . . .	68
Senden und Empfangen Hertzscher Wellen . . . . .	71
Modulation und Demodulation . . . . .	72
Festigung und Systematisierung . . . . .	75
<b>Stoffgebiet Optik</b> . . . . .	76
<b>Stoffeinheit Strahlenoptik</b> . . . . .	76
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	76
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	77
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	77
Reflexion und Brechung des Lichtes . . . . .	77
Totalreflexion . . . . .	81
Prismen und Sammellinsen . . . . .	82
<b>Stoffeinheit Wellenoptik</b> . . . . .	85
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	85
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	86
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	87
Beugung und Interferenz des Lichtes, Farbzerlegung bei Interferenz . . . . .	87
Arten von Spektren . . . . .	89
Elektromagnetisches Spektrum . . . . .	92
Festigung und Kontrolle . . . . .	94
<b>Stoffgebiet Gesamtwiederholung – Praktikum</b> . . . . .	95
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	95
Planung des Stoffgebietes Gesamtwiederholung – Praktikum . . . . .	97
<b>Gesamtwiederholung</b> . . . . .	99
Empfehlungen zur Gestaltung der Wiederholungsstunden . . . . .	100
Thermodynamik . . . . .	100
Kinematik und Dynamik . . . . .	102
Gleichstromkreis und statische Felder . . . . .	105
Elektromagnetische Induktion . . . . .	106
Elektrische Leitungsvorgänge . . . . .	108
Mathematische Verfahren im Physikunterricht . . . . .	109

<b>Physikalisches Praktikum</b> . . . . .	111
Empfehlungen zur Gestaltung der Praktikumsexperimente . . . . .	112
1. Aufgabenkomplex Kinematik und Dynamik . . . . .	112
2. Aufgabenkomplex Wechselstromkreis . . . . .	115
3. Aufgabenkomplex Schwingungen . . . . .	120
4. Aufgabenkomplex Gleichstromkreis und Thermodynamik . . . . .	123
<b>Stoffgebiet Kernphysik</b> . . . . .	127
<b>Stoffeinheit Atomkerne und Kernstrahlung</b> . . . . .	127
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	127
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	129
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	130
Entdeckung der Kernstrahlung und Aufbau des Atomkerns . . . . .	130
Spontanzfall . . . . .	132
Eigenschaften, Wirkungen und Anwendungen der Kernstrahlung . . . . .	134
<b>Stoffeinheit Künstliche Kernumwandlungen</b> . . . . .	137
Ziele und inhaltliche Schwerpunkte . . . . .	137
Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit . . . . .	139
Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten . . . . .	140
Historische und praktisch bedeutsame künstliche Kernumwandlungen . . . . .	140
Kernspaltung, Kernfusion und ihre praktische Nutzung . . . . .	141

# Zu den Zielen, den inhaltlichen und methodischen Schwerpunkten des Physikunterrichts in Klasse 10

## 1. Inhaltliche und methodische Schwerpunkte des Physikunterrichts in Klasse 10

### *Zur Weiterentwicklung des Physikunterrichts*

Die Lehrpläne für Physik der Klasse 6 bis 10 dokumentieren die Bemühungen um die ständige inhaltliche und methodische Weiterentwicklung des Physikunterrichts. Das zentrale Anliegen dieser Bemühungen besteht darin, den Beitrag des Physikunterrichts zur Entwicklung allseitiger sozialistischer Schülerpersönlichkeiten zu erhöhen. Im Vordergrund stehen dabei die solide Aneignung von Wissen und Können, hohe geistige Aktivität und die wirksame weltanschauliche und politisch-moralische Erziehung der Schüler.

Hierzu sind in den Lehrplänen verbindliche Ziele formuliert und in den Lehrbüchern interpretiert und konkretisiert.

Die umfassende Realisierung dieser anspruchsvollen Zielstellungen ist nur durch die schöpferische Arbeit des Lehrers möglich. Nachfolgend wird auf einige wichtige Linienführungen eingegangen.

- Im Zentrum des Physikunterrichts steht die Vermittlung von Grundlagen aus der klassischen Physik. Sie werden in Klasse 10 durch einige Inhalte der modernen Physik ergänzt. Die in den Lehrplänen festgeschriebene Auswahl des Stoffes wird wesentlich vom wissenschaftlich-technischen Fortschritt mitbestimmt. Dabei erfolgt eine Konzentration auf das Wesentliche.
- Durch die enge Verbindung des Physikunterrichts mit dem Leben wird ein Beitrag zur Ausprägung des polytechnischen Charakters unserer Oberschule geleistet. Sie dient vor allem der Motivierung der Schüler und ihrer Vorbereitung auf den künftigen Beruf. Ausgehend von der Vielzahl der im Lehrplan geforderten Bezüge und der im Lehrbuch angebotenen Möglichkeiten soll der Lehrer eigene Ideen entwickeln, um möglichst wirkungsvoll die Erfahrungswelt der Schüler einzubeziehen und bereits bei der Erarbeitung physikalischer Gesetze auf deren Anwendung zu verweisen, um nach dem Erkennen diese in vielfältigen praktischen Anwendungen wiederzufinden. Auch dabei sind die erzieherischen Möglichkeiten voll auszuschöpfen.
- Die vielfältigen erzieherischen Möglichkeiten des Physikunterrichts werden zielgerichtet genutzt, um einen wesentlichen Beitrag zur Persönlichkeitsentwicklung der Schüler zu leisten. Besonders die Arbeit mit dem physikalischen Experiment wird dazu beitragen, wichtige Persönlichkeitseigenschaften wie Sorgfalt, Ordnung und Disziplin, Pflichtgefühl und Ausdauer zu entwickeln. Das gemeinsame Lösen von Aufgaben fördert die Herausbildung von Eigenverantwortung, gegenseitigem Vertrauen, Hilfsbereitschaft und Kollektivität.

- Für die Realisierung des Beitrages des Physikunterrichts zur allseitigen Entwicklung der Schülerpersönlichkeiten ist es notwendig, daß die Schüler grundlegende Denk- und Arbeitsweisen der Physik sicher anwenden können. Im Mittelpunkt steht dabei die Befähigung der Schüler zur Ausführung fachspezifischer und fachübergreifender geistiger und geistig-praktischer Tätigkeiten. Der Lehrer kann dem Lehrplan sinnvolle Beschränkungen, Systematisierungen und terminologische Vereinheitlichungen sowie eine Bestimmung des Niveaus entnehmen.
- Als Schlüsselfrage der didaktisch-methodischen Konzeption hat sich auch für den Physikunterricht erwiesen, den Erkenntnisprozeß aus den spezifischen Erkenntniswegen heraus zu entwickeln, die dem Gegenstand zugrunde liegen. Besondere Bedeutung kommt dabei der Arbeit mit dem Experiment und der Anwendung der Mathematik zu. Der methodisch durchdachte, erkenntnistheoretisch begründete und organisatorisch abgesicherte Einsatz von Experimenten ist eine unverzichtbare Voraussetzung für die aktive Aneignung soliden physikalischen Wissens und Könnens durch die Schüler, für ihre weltanschauliche Erziehung und für die Entwicklung des Charakters. Ein wesentliches Anliegen des Lehrers muß dabei darin bestehen, Demonstrations- und Schülerexperimente überlegt in allen didaktischen Phasen des Unterrichts einzusetzen.
- Die Anwendung der Mathematik ist eng mit dem physikalischen Experiment verbunden. Die Beantwortung der im Experiment gestellten Frage erfolgt meist in der Sprache der Mathematik durch eine Meßwertetabelle, ein Diagramm, eine Proportionalität oder eine Gleichung. Aus mathematisch formulierten Gesetzen erhält man durch Berechnung oder Interpretation Aussagen, die durch Experimente überprüft werden können. Im Unterricht soll der Lehrer die vielfältigen Möglichkeiten der Anwendung der Mathematik mit steigenden Anforderungen nutzen.

### *Einordnung des Physiklehrstoffes der Klasse 10 in den Gesamtlehrgang Physik*

Die Umsetzung der Aufgabenstellung des Lehrplans Klasse 10, Physik, kann nur dann mit hoher Qualität erfolgen, wenn sie aus der Gesamtsicht heraus erfolgt. Es ist deshalb erforderlich, daß jedem Lehrer diese Struktur bewußt ist. Dabei müssen neben der Verbindung zur Mathematik auch die Beziehungen zu den anderen Fächern berücksichtigt werden.

Zur besseren Übersicht wird nachfolgend der Gesamtlehrgang Physik aus inhaltlicher Sicht knapp umrissen.

In Klasse 6 erfolgt ein Einblick in mehrere Stoffgebiete der Physik in unterschiedlicher Tiefe. Damit wird den Schülern gleichzeitig ein Überblick über die Physik und ihren Gegenstand gegeben. In den Stoffgebieten „Mechanik“ und „Thermodynamik“ werden elementare Grundlagen behandelt, die in den folgenden Jahresthemen vertieft und erweitert werden. Das Stoffgebiet „Optik“ wird als Strahlenoptik relativ abgeschlossen behandelt und erst in Klasse 10 wieder aufgegriffen. Im Zusammenhang mit dem Aufbau der Stoffe aus Teilchen und den Lichtstrahlen werden erste einfache Modellvorstellungen behandelt, weiterhin erfolgt ein Einblick in die Arbeitsweise der Physiker.

In Klasse 7 werden die Betrachtungen zur Mechanik fortgesetzt. Mit den Begriffen Kraft, Arbeit und Energie werden wesentliche Grundlagen für den gesamten weiteren Physikunterricht gelegt, vor allem für die Behandlung der Mechanik in Klasse 9. In der Stoffeinheit „Energie in Natur und Technik“ werden Voraussetzungen geschaffen, die weit über den Physikunterricht hinaus wirksam werden.

In Klasse 8 wird die „Thermodynamik“ zum Abschluß geführt. Dabei dominiert die phänomenologische Betrachtungsweise. Einfache Erscheinungen können die Schüler jedoch

auch mit Hilfe der Vorstellungen vom Aufbau der Stoffe aus Teilchen deuten. Im Stoffgebiet „Elektrizitätslehre“ erwerben die Schüler Wissen über wichtige physikalische Größen und Gesetze des Gleichstromkreises. Am Beispiel des Modells der Elektronenleitung wird der Modellbegriff eingeführt.

In dem sich inhaltlich eng daran anschließenden Stoffgebiet „Elektrizitätslehre“ in Klasse 9 werden das elektrische und magnetische Feld und die elektromagnetische Induktion sowie wichtige Anwendungen behandelt. Nach einer Ergänzung der Gesetze im Gleichstromkreis erfolgt die Behandlung der elektrischen Leitungsvorgänge in allen Stoffen und im Vakuum. Die Elektrizitätslehre in Klasse 8 und 9 bietet vielfältige Gelegenheiten zur engen Verbindung des Wissens der Schüler mit dem technischen und technologischen Fortschritt. Dazu ist es in besonderem Maße erforderlich, die Inhalte zwischen den Fächern Physik und ESP zu koordinieren.

Mit der Behandlung der Kinematik und Dynamik in Klasse 9 wird den Schülern deutlich gemacht, daß bei der Untersuchung von mechanischen Bewegungen der Körper Idealisierungen erfolgen müssen, bevor zur Gesetzeskenntnis vorgedrungen wird. Die Schüler sollen erkennen, daß vielfältige Bewegungen in der Praxis mit wenigen physikalischen Gesetzen hinreichend genau beschrieben werden können. Am Beispiel des Weg-Zeit-Gesetzes wird den Schülern eine Anleitung für das Interpretieren von Gleichungen gegeben.

Bei der Behandlung der Gravitation als erste Stoffeinheit der Mechanik in Klasse 10 werden wesentliche Vorkenntnisse der Schüler aus Klasse 9 angewandt. Zugleich wird ein unmittelbarer Vorlauf für den Astronomieunterricht geschaffen. In den Stoffeinheiten „Mechanische Schwingungen“ und „Mechanische Wellen“ werden wesentliche Grundlagen für die Stoffgebiete „Elektrizitätslehre“ und „Optik“ vermittelt. In der folgenden Stoffeinheit „Wechselstrom“ werden weitere physikalische Größen eingeführt und wichtige Gesetze des Wechselstromkreises behandelt. Dabei bleibt der Schwingungsbegriff zunächst im Hintergrund, kommt aber dann in der Stoffeinheit „Schwingkreis“ voll zum Tragen. Mit der Stoffeinheit „Hertzische Wellen“ wird auch die Elektrizitätslehre abgeschlossen.

In der Stoffeinheit „Strahlenoptik“ stehen das Reflexions- und das Brechungsgesetz im Mittelpunkt. In der Stoffeinheit „Wellenoptik“ bereichern die Schüler ihre Vorstellungen über das Licht und lernen die Grenzen für die Anwendbarkeit des Modells „Lichtstrahl“ kennen. Mit Betrachtungen zu den Spektren wird auch das Stoffgebiet „Optik“ abgeschlossen.

Schließlich erwerben die Schüler im Stoffgebiet „Kernphysik“ Kenntnisse über Arten, Eigenschaften und Wirkungen von Kernstrahlung sowie über deren Anwendungen und Formen der Kernumwandlung und ihre Nutzung.

In den Klassen 9 und 10 wird jeweils ein physikalisches Praktikum durchgeführt. Es ist in Klasse 10 eng mit der Gesamtwiederholung verbunden.

Wie diese Übersicht zeigt, kommt dem Physikunterricht in Klasse 10 eine besondere Bedeutung bei der Erweiterung, Systematisierung und Festigung des Wissens und Könnens der Schüler zu. Ausgehend von den eingangs charakterisierten Linienführungen ergeben sich für die Klasse 10 nachfolgend zusammengestellte inhaltliche und methodische Schwerpunkte für die Gestaltung des Physikunterrichts, die in engem Zusammenhang mit den vorangehend markierten Vorleistungen gesehen werden müssen.

### *Inhaltliche Schwerpunkte der Mechanik in Klasse 10*

- Gravitation: Bedeutung für die Bewegung von Körpern in unserem Sonnensystem; Gravitationsgesetz als Grundlage für die Berechnung der Bahnen von Himmelskörpern.
- Mechanische Schwingungen: Beschreibung und Erklärung des Auftretens gedämpfter und ungedämpfter Schwingungen; Gleichungen für den Federschwinger und das Fadenpendel;

Energieumwandlungen bei Schwingungen; Unterschied zwischen Eigenschwingungen und erzwungenen Schwingungen; mechanische Schwingungen und Resonanzvorgänge in Natur und Technik.

- Mechanische Wellen: Beschreibung und Erklärung des Auftretens von mechanischen Wellen; Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit; Eigenschaften Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz als Grundlage für die Behandlung der Hertzschen Wellen und der Wellenoptik.

### *Inhaltliche Schwerpunkte der Elektrizitätslehre in Klasse 10*

- Wechselstromkreis: Elektrische Stromstärke, elektrische Spannung, elektrischer Widerstand und elektrische Leistung im Gleich- und Wechselstromkreis; Ohmscher Widerstand eines elektrischen Bauelements, Induktivität und induktiver Widerstand einer Spule, Kapazität und kapazitiver Widerstand eines Kondensators und deren Anwendungen.
- Schwingkreis: Wirkungsweise des Schwingkreises und Anwendung elektromagnetischer Schwingungen.
- Hertzische Wellen: Eigenschaften Hertzscher Wellen, daraus folgende Schlußfolgerungen für deren Empfang sowie über die Notwendigkeit der Modulation und Demodulation elektromagnetischer Schwingungen zur Informationsübertragung.

### *Inhaltliche Schwerpunkte der Optik in Klasse 10*

- Strahlenoptik: Beschreibung der Ausbreitung, Reflexion und Brechung mit dem Modell „Lichtstrahl“; Brechungsgesetz (quantitativ).
- Wellenoptik: Welleneigenschaften des Lichtes, Grenzen des Modells „Lichtstrahl“, Farberlegung weißen Lichtes, kontinuierliche Spektren und Linienspektren, infrarote und ultraviolette Strahlung.

### *Inhaltliche Schwerpunkte der Kernphysik in Klasse 10*

- Atomkerne und Kernstrahlung: Arten, Eigenschaften, Wirkungen und Anwendungen der Kernstrahlung. Zählrohr als Nachweisgerät.
- Künstliche Kernumwandlungen: Gezielte Kernumwandlungen, Freisetzung von Kernenergie. Aufbau und Wirkungsweise eines Kernreaktors.

### *Methodische Schwerpunkte in Klasse 10*

- Hinsichtlich einer wirksamen, allseitigen Persönlichkeitsentwicklung ist die Gestaltung einer fruchtbaren Arbeitsatmosphäre unabdingbare Voraussetzung. Der Physikunterricht der Klasse 10 bietet hierfür, ausgehend von der Vielfalt der mannigfaltigen geistigen und geistig-praktischen Tätigkeiten, der vielfältigen Anwendungen und historischen Bezüge

günstige Voraussetzungen. Durch wirksame Motivationen müssen die Schüler zu aktiver Mitarbeit und hoher Selbständigkeit geführt werden. Bei der Planung des Unterrichts müssen von vornherein gewisse Varianten ins Auge gefaßt werden. Sie sollen die notwendige situationsbedingte Beweglichkeit des Lehrers in der Unterrichtsführung, in Abhängigkeit von den Ideen der Schüler ermöglichen. Es müssen interessante Situationen geschaffen werden, die die Schüler dazu stimulieren, ihr Wissen auf Sachverhalte anzuwenden.

- Hinsichtlich inhaltlicher Schwerpunkte ist es auch in Klasse 10 wesentlich, physikalische Begriffe und Gesetze zu erarbeiten. Im Zusammenhang mit der Behandlung physikalischer Gesetze und deren Anwendungen zur Erklärung und zur Voraussage von Erscheinungen und Vorgängen vertiefen die Schüler ihr Verständnis dafür, daß die Physik nach der Erkenntnis von Gesetzen strebt und diese bevorzugt mit Hilfe der Mathematik formuliert. Dabei werden erstmalig auch Zusammenhänge unter Verwendung von Wurzel- und Sinusfunktionen dargestellt. Die Schüler müssen ihre Einsicht vertiefen, daß die Gültigkeit und damit die Anwendbarkeit von Gesetzen an bestimmte Bedingungen gebunden ist.

Der empirische Weg der Erkenntnis bleibt wie auch in den vorangegangenen Klassen im Vordergrund und wird in angemessenem Maße durch den theoretischen Weg ergänzt. Infolge ihrer relativ komplizierten mathematischen Struktur werden mehrere Gleichungen gegeben und von den Schülern interpretiert. Die Schüler erkennen dabei physikalische Abhängigkeiten und sollen Experimente zur Bestätigung derselben vorschlagen.

- Hinsichtlich geistiger Schülertätigkeiten muß an die Vorkenntnisse und das Können der Schüler aus den Klassen 6 bis 9 angeknüpft werden. Das höhere Anspruchsniveau resultiert vor allem aus den komplizierteren Gegenständen und Beziehungen.

Die Schüler vervollkommen ihre Fähigkeiten, das Lehrbuch, das Tafelwerk und weitere Nachschlagewerke zur selbständigen Aneignung und Festigung des Wissens zu nutzen. Hierfür muß der Lehrer geeignete Bedingungen schaffen, in notwendigem Maße anleiten und kontrollieren.

- Hinsichtlich der experimentellen Schülertätigkeiten wird die in den Klassen 6 bis 9 begonnene Entwicklung des experimentellen Könnens systematisch fortgesetzt und zu einem gewissen Abschluß gebracht. Die Schüler vervollkommen ihre Fähigkeit, planmäßig und zielstrebig vorzugehen. Bei den elektrischen Messungen sollen sie Fertigkeiten im Schalten, Bedienen und Ablesen der Schülermeßgeräte entwickeln. Sie müssen selbständig protokollieren können. An ausgewählten Demonstrations-, Schüler- und Praktikumsexperimenten wird ihr Verständnis für Fehlerbetrachtungen vertieft. Das höhere Niveau besteht dabei darin, daß die Schüler weitgehend selbständig die Ursachen für Meßfehler erkennen.
- Der Wiederholung, Festigung und Systematisierung als Grundprinzip jeden Unterrichtes kommt in Klasse 10 – auch in Hinblick auf die Vorbereitung der Abschlußprüfung – eine besondere Bedeutung zu. Dieser Tatsache muß deshalb von der ersten Unterrichtsstunde an Rechnung getragen werden. Ein zusätzlicher, spezifischer Beitrag wird hierzu im Stoffgebiet „Gesamtwiederholung – Praktikum“ geleistet.

## 2. Inhaltliche Linienführungen

Trotz der Verschiedenartigkeit bestehen enge Beziehungen zwischen einzelnen Stoffgebieten und Stoffeinheiten, deren Bewußtmachen einen wesentlichen Beitrag zur Systematisierung des Wissens der Schüler leistet.

Die Stoffanordnung entspricht der klassischen Struktur der Physik. Mit der Behandlung

der Mechanik zu Beginn der Klasse 10 wird an den Physikunterricht der Klasse 9 angeknüpft. Die Berechnungen der Bahnen von Himmelskörpern erfolgen unter Zugrundelegung der Kreisbewegung und ihrer Gesetze. Die in der Stoffeinheit „Mechanische Schwingungen“ eingeführten Begriffe und erarbeiteten Gesetze werden im Stoffgebiet „Elektrizitätslehre“ genutzt. Das trifft bereits für die Stoffeinheit „Wechselstrom“ zu, in der der zeitliche Verlauf von Spannung und Stromstärke als Graph der Sinusfunktion gekennzeichnet wird. Besonders kommen sie aber in der Stoffeinheit „Schwingkreis“ im Zusammenhang mit gedämpften und ungedämpften Schwingungen und Resonanz zum Tragen. Zu den Gemeinsamkeiten gehört auch die ähnliche Struktur der Gleichungen für die Periodendauer des Federschwingers und des Fadenpendels sowie der Thomsonschen Schwingungsgleichung.

In der Stoffeinheit „Mechanische Wellen“ werden die Grundlagen für die Stoffeinheiten „Hertzische Wellen“ und „Wellenoptik“ gelegt. Die Eigenschaften aller drei Wellenarten werden in gleicher Abfolge behandelt, Gemeinsamkeiten und Unterschiede jeweils herausgearbeitet. Am Ende der Stoffeinheit „Wellenoptik“ erfolgt die Systematisierung der elektromagnetischen Wellen und deren Eigenschaften. Dabei wird auch die Röntgenstrahlung mit einbezogen, die im Physikunterricht nicht explizite behandelt wird. Außerdem erfolgt ein Ausblick auf die Gammastrahlung, die erst in dem nachfolgenden Stoffgebiet behandelt wird. In der nachfolgenden Unterrichtsstunde zur Festigung und Kontrolle erfolgt durch die Systematisierung von mechanischen Wellen, Hertzischen Wellen und Licht bezüglich Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz ein erneutes Bewußtmachen der Zusammenhänge.

Auch innerhalb der Stoffgebiete sind mehrere inhaltliche Linienführungen angelegt. Beim Übergang von den mechanischen Schwingungen zu den mechanischen Wellen kommt den gekoppelten Schwingern eine große Bedeutung zu. Der enge Bezug zwischen beiden Stoffeinheiten wird weiterhin durch die Formulierung: „Eine mechanische Welle ist die Ausbreitung einer mechanischen Schwingung im Raum ...“ zum Ausdruck gebracht. Die Behandlung des Wechselstromkreises erfolgt ausgehend vom Gleichstromkreis und in ständigem Bezug zu diesem. Gemeinsamkeiten und Unterschiede werden schrittweise erarbeitet, wie die Beeinflussung von Spannung und Stromstärke durch ohmsche, induktive und kapazitive Bauelemente. Parallel dazu werden Betrachtungen zum zeitlichen Gleichlauf bzw. zur zeitlichen Verschiebung von Spannung und Stromstärke bei diesen Bauelementen durchgeführt. Dabei werden organisch weiterführende Betrachtungen zu Kondensator und Spule eingefügt, die auf die Vorleistungen, die in Klasse 9 geschaffen wurden, aufbauen. Das der gesamten Vorgehensweise im Physikunterricht der Klasse 10 zugrunde liegende Fortschreiten von der jeweiligen Erscheinung zu ihrem Wesen wird auch bei der Behandlung des Schwingkreises realisiert. Die Vorgänge im Schwingkreis werden auf der Grundlage der Wirkungsweise von Kondensator und Spule erklärt. In der Stoffeinheit „Hertzische Wellen“ wird der Dipol als geöffneter Schwingkreis gekennzeichnet. Dadurch lassen sich die Kenntnisse über den Schwingkreis auf den Dipol übertragen.

### 3. Zu historischen Betrachtungen

In Klasse 10 wird durch Einbeziehung von Fakten aus der Entwicklung der Wissenschaft und Technik sowie durch die Würdigung von Leben und Werk bedeutender Physiker dazu beigetragen, daß bei den Schülern das Verständnis für die Rolle der Physik als Produktivkraft, ihre Funktion bei der sozialen und kulturellen Entwicklung der Gesellschaft gefördert wird und daraus Einsichten, Überzeugungen und Haltungen hinsichtlich der Funktion von Wissenschaft und Technik in unserer Gesellschaftsstrategie entwickelt werden.

Darüber hinaus sind historische Betrachtungen ein wesentliches Mittel zum Wecken des Interesses der Schüler.

Aus dieser Sicht sind historische Einstiege in Stoffeinheiten zweckmäßig. Das gilt besonders dann, wenn die Schüler über den jeweiligen Teilbereich der Physik nur wenige oder keine Vorkenntnisse besitzen.

Der Lehrplan der Klasse 10 sieht solche historischen Einstiege in mehrere Bereiche vor. Sie sind eng mit der Realisierung bestimmter Erziehungsziele verknüpft. So erhalten die Schüler in der Stoffeinheit „Gravitation“ einen ersten Einblick in die historische Entwicklung der Vorstellungen über unser Sonnensystem. Sie werden an die Erkenntnisse herangeführt, die auf dem Wege zur Anerkennung des heliozentrischen Weltsystems gewonnen wurden und die Hindernisse, die überwunden werden mußten. Der Lehrplan sieht weiterhin vor, daß die Schüler Wissen über die Entdeckung der Hertzschen Wellen und deren Anwendung erwerben. Am Beispiel der Erfindungen des russischen Physikers Popow und des italienischen Technikers Marconi sollen sich die Schüler auf der Grundlage ihres Wissens aus dem Staatsbürgerkundeunterricht damit auseinandersetzen, daß die Überführung von Erfindungen in die Praxis nicht losgelöst vom Entwicklungsstand der Produktivkräfte betrachtet werden kann.

In der Stoffeinheit „Strahlenoptik“ wird den Schülern ein Überblick über die historische Entwicklung der Vorstellungen vom Licht gegeben. Dabei werden die Schüler mit dem Ringen der Physiker um einfache Vorstellungen von einem komplizierten Objekt vertraut gemacht.

Im Stoffgebiet „Kernphysik“ lernen die Schüler die Entdeckungsgeschichte der natürlichen Radioaktivität sowie der Kernspaltung und der Kettenreaktion und die Geschichte der Entwicklung und Anwendung von Kernwaffen kennen. Dabei werden die Haltungen und Motive bedeutender Physiker wie Einstein, Szilard, Oppenheimer, Joliot-Curie und Kurt Schatow gewertet. Bei der Planung des Unterrichts muß der Lehrer die großen Potenzen historischer Betrachtungen für die Persönlichkeitsentwicklung der Schüler zielgerichtet nutzen. Dabei sind Bezüge zum Geschichts- und Staatsbürgerkundeunterricht herzustellen.

#### **4. Zur Festigung des Wissens und Könnens**

Die dauerhafte Aneignung des grundlegenden Wissens und Könnens der Schüler ist eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg des Physikunterrichts. Ihr kommt in der Klasse 10 als Abschlußklasse der Oberschule eine große Bedeutung zu. Der Lehrer muß sich in besonderem Maße um die Erreichung dieses Ziels bemühen. Die dauerhafte Aneignung des grundlegenden Wissens und Könnens durch die Schüler muß bereits bei der Erstvermittlung beginnen. Der Lehrer muß die Schüler zum intensiven Lernen anhalten, ihre Einsicht vertiefen, daß zur Herausbildung eines sicheren und anwendungsbereiten Wissens und Könnens auch das Auswendiglernen grundlegenden Wissens gehört. Die Erstaneignung des Grundlegenden muß sinnvoll motiviert und die Erfahrungen und Vorkenntnisse der Schüler müssen genutzt werden. Es gilt Erkenntniswege zu beschreiten, die sich durch überzeugende Logik auszeichnen, das Wissen und Können muß in methodisch ausgereifter Form vermittelt werden.

Weiterhin ist eine sinnvolle Festigung der grundlegenden Inhalte des Physikunterrichts durch Wiederholung, Übung, Anwendung, Systematisierung und Kontrolle zu gewährleisten. Dazu muß sich der Lehrer der vielfältigen Möglichkeiten bewußt sein. So wird bereits bei der Erarbeitung des neuen Stoffes vorhandenes Wissen der Schüler wiederholt, gefestigt und sy-

stematisiert. Durch die Formulierung „Grundlagen aus Klassen ...“ orientiert der Lehrplan auf solche Voraussetzungen. Es bleibt dem Lehrer überlassen, ob er sie jeweils zu Beginn der Stoffeinheit oder der thematischen Einheit geschlossen wiederholt oder sie bei der Erarbeitung impliziert.

Die Festigung des Wissens und Könnens der Schüler muß sich in angemessenem Umfang auch auf solche Stoffeinheiten erstrecken, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem neu zu vermittelnden Wissen stehen. So sollten z. B. zielgerichtet bestimmte Inhalte aus der Thermodynamik der Klasse 8 wiederholt werden. Hierzu geben die Aufgaben im Lehrbuch auf den Seiten 149 ff. mögliche Anhaltspunkte.

Weiterhin sind – wie auch in den Lehrplänen der vorangegangenen Klassen – am Ende der Stoffgebiete Stunden für die Festigung und Kontrolle vorgesehen. Den Zeitpunkt der Durchführung dieser Stunden kann der Lehrer selbst wählen. Schließlich werden im Stoffgebiet „Gesamt wiederholung – Praktikum“ wesentliche Inhalte des gesamten Physikunterrichts wiederholt.

Wichtig ist weiterhin das regelmäßige und häufige Durchführen von Kurzübungen. Sie dienen hauptsächlich der ständigen Reaktivierung des früher behandelten Stoffes. Dabei stehen die Inhalte im Vordergrund, die sich die Schüler gemäß Lehrplan einprägen sollen.

Für die Realisierung aller dieser Formen werden nachfolgend in den Planungshinweisen zu den Stoffeinheiten exemplarisch Anregungen gegeben.

Die Festigung muß in engem Zusammenhang mit der Lehrplanforderung gesehen werden, den Schülern vielfältige Gelegenheiten zu geben, ihre Fähigkeiten im mündlichen und schriftlichen Ausdruck zu vervollkommen. Hierzu sind alle Möglichkeiten, von der schriftlichen Kurzkontrolle bis hin zu vorbereiteten Schülervorträgen zu nutzen.

## **5. Zur Abschlußprüfung und zu den Prüfungsvorbereitungen**

Die Abschlußprüfungen in der Klasse 10 nehmen als abschließende Kontrolle der in der gesamten Schulzeit erzielten Ergebnisse von Bildung und Erziehung einen hohen pädagogischen Stellenwert in der Entwicklung der Schüler ein. Sie sind für die Schüler ein Bewährungsfeld und geben neben der kontinuierlichen Leistungskontrolle im Unterricht Aufschluß darüber, inwieweit die objektiv gesetzten gesellschaftlichen Anforderungen an das im Unterricht zu realisierende Niveau durch die Schüler erreicht wurde, inwieweit ihre Reife, ihr Wissen und ihr Können diesen Ansprüchen gerecht werden.

Die beste Vorbereitung auf die Abschlußprüfung ist eine kontinuierliche hohe Qualität des Unterrichts, eine solide Bildung und Erziehung in allen Klassenstufen auf der Grundlage der in den Lehrplänen gesetzten Ansprüche. Die Vorbereitung der Schüler auf die Prüfungen erfolgt am solidesten und wirksamsten, wenn die Prüfungsvorbereitungen nicht neben das Gesamtkonzept des Unterrichts gestellt werden und wenn durch den Unterricht der vorausgegangenen Klassen die Voraussetzungen gesichert worden sind.

In diesem Sinne sollte der Unterricht in der Klasse 10 auch darauf gerichtet sein, das im vorausgegangenen Unterricht vermittelte Wissen und Können zu ordnen und zu systematisieren, es bei der Vermittlung neuen Unterrichtsstoffes in vielseitigen Zusammenhängen zu reaktivieren und anzuwenden. Bei der Planung und Gestaltung des Unterrichts ist der soliden Vermittlung und Aneignung neuen Wissens, der Ergebnissicherung, der ständigen Wiederholung und Übung, dem Schließen individueller Lücken im Wissen und Können der Schüler besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Alle Schüler sind an die zunehmend selbständige Bewältigung komplexer Aufgabenstellungen im Unterricht heranzuführen. Be-

stimmte Techniken geistiger Arbeit sind weiter auszubilden und zu festigen. Diese Planung und Gestaltung schließt auch die Gestaltung von Phasen des Unterrichts ein, in denen ausdrücklich auf die Realisierung bestimmter Prüfungsanforderungen hingearbeitet wird, z. B. können schriftliche Prüfungsaufgaben der vorausgegangenen Jahre bei der Vorbereitung auf die schriftlichen Prüfungen verwendet werden. Im gesamten Schuljahr wird – wie dargelegt – ein Beitrag zur Prüfungsvorbereitung geleistet. Aus diesem Grunde enthalten die Unterrichtshilfen durchgehend Vorschläge für die Wiederholung, Übung usw.

Das Stoffgebiet „Gesamtwiederholung – Praktikum“ dient in besonderem Maße der Vorbereitung der Schüler auf die Abschlußprüfung. Die Unterrichtshilfen geben Empfehlungen, welche Schwerpunkte Gegenstand der Gesamtwiederholung sein können und wie das Praktikum dabei genutzt wird, sowie welche Aufgabenstellungen den Schülern für die Gesamtwiederholung erteilt werden können.

Im Vorbereitungsprozeß auf die mündlichen Prüfungen nehmen die Konsultationen eine besondere Stellung ein. Der Wert der Konsultationen liegt vor allem darin, daß die Schüler die Möglichkeit erhalten, im Prozeß der unmittelbaren Vorbereitung auf ihre mündliche Prüfung Unterstützung und Anregung zu bekommen, inhaltliche Probleme klären und bestimmte inhaltliche Schwerpunkte nochmals vertiefend erörtern zu können. Es können auch effektivere Vorgehensweisen bei der Lösung von Prüfungsaufgaben geübt werden. Auf diese Weise erhalten die Schüler größere Sicherheit.

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

Die vorliegenden Unterrichtshilfen sind Hilfen für die individuelle Planung des Physiklehrers. Sie beziehen sich auf den Lehrplan Physik für die Klasse 10, der ab 1.9.1988 Gültigkeit besitzt.

Sie sind wie folgt gegliedert:

- Die *generellen Zielstellungen, Orientierungen und Linienführungen* werden jeweils eingangs in den entsprechenden Abschnitten (zum Jahreslehrgang und zu den Stoffeinheiten) umrissen. Sie stehen in engem Zusammenhang mit den Ausführungen im Lehrplan Physik, Klasse 10, in den Abschnitten „*Ziele und Aufgaben*“ und „*Hinweise zur methodischen und organisatorischen Gestaltung des Unterrichts*“. Die Kenntnis aller dieser Aussagen ist eine wichtige Voraussetzung für das Verständnis der Hinweise, Anregungen und Vorschläge in den Unterrichtshilfen und deren schöpferische Umsetzung im Unterricht.
- Wichtigste *Struktureinheit* für die Planung und Gestaltung des Unterrichts ist die Stoffeinheit. Deshalb werden für alle Stoffeinheiten jeweils zu Beginn Ziele und inhaltliche Schwerpunkte umrissen. Sie charakterisieren den Beitrag, der in der jeweiligen Stoffeinheit zur Bildung und Erziehung der Schüler geleistet werden soll. Außerdem erfolgt ein ausführlicher Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit, in den auch Varianten einbezogen werden.  
Der Stoffeinheit übergeordnet ist das Stoffgebiet, ihr untergeordnet sind die thematischen Einheiten.
- Unmittelbare Hinweise für die Planung und Gestaltung des Unterrichts werden in den *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten* gegeben. Diese Hinweise umfassen alle Aspekte des Unterrichts, wobei die Akzente von der Thematik bestimmt werden. Sie reichen von Vorschlägen für die gesamte thematische Einheit bis hin zu Teilen einer Unterrichtsstunde. Bei der Planung sollte der Lehrer seine Entscheidungen über den metho-

dischen-Weg in der Regel schon bei der Planung der Stoffeinheit, spätestens jedoch der thematischen Einheit treffen. Das gilt insbesondere für die Wahl der Varianten.

Die Hinweise beziehen sich auch auf Experimente und Unterrichtsmittel. Auf einzelne Geräte wird nur verwiesen, wenn ihrer Bereitstellung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muß. An ausgewählten Beispielen werden Muster für Tafelbilder und Folien angegeben.

In diesen Unterrichtshilfen werden folgende Abkürzungen verwendet:

- DE = Demonstrationsexperiment
- Fo = Folie
- HA = Hausaufgabe
- K-F = Kassettenfilm
- LB = Lehrbuch
- LBA = Lehrbuchabbildung
- LV = Lehrervortrag
- PhiS = Zeitschrift „Physik in der Schule“
- PhÜb = Physik in Übersichten
- PSE = Physikalische Schulexperimente
- PSV = Physikalische Schulversuche
- SE = Schülerexperiment
- (s) = Selbstbau
- SSA = Selbständige Schülerarbeit
- SV = Schülervortrag
- TB = Tafelbild
- T-R = Tonbildreihe
- UG = Unterrichtsgespräch
- USF = Unterrichtssendung des Fernsehens

## Stoffeinheit Gravitation

5 Stunden

### *Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

In der Stoffeinheit „Gravitation“ werden wichtige Kenntnisse aus der Kinematik und der Dynamik der Klasse 9 reaktiviert und als Grundlage für weitere Stoffeinheiten der Mechanik zur Verfügung gestellt.

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen *die Gravitation und das Gravitationsgesetz und die Bedeutung der Gravitation für Bewegungen von Körpern im Sonnensystem.*

Der weltanschauliche Gehalt des Gravitationsgesetzes, die Geschichte seiner Entdeckung und seines Einflusses auf die Entwicklung des modernen Weltbildes sind zu erschließen.

Den Schülern wird die *historische Entwicklung der Vorstellungen über unser Sonnensystem* vermittelt und dabei erarbeitet, daß erst durch die Überzeugung von der Richtigkeit des heliozentrischen Weltbildes die Keplerschen Gesetze entdeckt und weiterer wissenschaftlicher Fortschritt erzielt werden konnten. Im Astronomieunterricht wird das im Fach Physik Behandelte ergänzt und vertieft. Durch den historischen Einstieg ist die Ausgangssituation für die Forschungen Newtons verständlich. Der weitere Unterricht wird durch die Frage nach der Art der Wechselwirkung zwischen Sonne und Planet sowie nach der mathematischen Formulierung eines Kraftgesetzes motiviert.

Der Schwerpunkt der weiteren Behandlung ist das Erarbeiten der Gravitation und des Gravitationsgesetzes. Da bisher im Unterricht die Masse der Körper vornehmlich in Verbindung mit der Trägheit erlernt wurde, muß nun erarbeitet werden, daß die Masse auch die Eigenschaft der Körper, sich gegenseitig anzuziehen, erfaßt. Das Wechselwirkungsgesetz und das Gesetz der Radialkraft werden an Beispielen für Himmelskörper reaktiviert. Die mathematische Formulierung des Gravitationsgesetzes wird den Schülern mitgeteilt. Das Gesetz wird an Beispielen erläutert und die Gleichung wird unter Anleitung des Lehrers interpretiert. Das Bestimmen der Gravitationskonstanten kann anhand der in der Schule vorhandenen Folie nach dem Verfahren von Richarz und Krigar-Menzel erläutert werden. Die Bestätigung des Gravitationsgesetzes ergibt sich aus der Übereinstimmung von berechneter und tatsächlicher Flugbahn bei Satelliten.

Bei den folgenden Anwendungen des Gravitationsgesetzes wird den Schülern der *Einfluß der Entdeckung dieses Gesetzes auf die Entwicklung des Weltbildes* bewußtgemacht: die Berechnung der Gravitationskräfte zwischen Himmelskörpern, die Berechnung der Masse zentraler Himmelskörper wie der Erde und der Sonne, die Berechnung der Geschwindigkeit von Satelliten und die Untersuchung der Abhängigkeit der Fallbeschleunigung vom Abstand zur Erde.

In der Stoffeinheit werden die *Fähigkeiten zur Anwendung der Mathematik* weiterentwickelt. Das zeigt sich an der mathematischen Strenge, mit der die Zusammenhänge durch logische und mathematische Deduktionen erarbeitet werden. So findet die in der Klasse 9 empirisch erarbeitete Tatsache, daß die Fallbeschleunigung eines Körpers von seiner Masse unabhängig ist, durch das Gravitationsgesetz ihre Erklärung.

Beim Lösen mathematisch-physikalischer Aufgaben stehen der Ansatz in Worten und der Ansatz in einer Gleichung, die Umformungen der Gleichungen und die zahlenmäßige Lösung im Vordergrund. Anhand solcher Aufgaben läßt sich den Schülern verdeutlichen, wie vielfältig die Fragestellungen sind, die mit der mathematischen Formulierung von Gesetzen beantwortet werden können. Mit dem Lösen solcher Aufgaben bietet sich auch die Möglichkeit für zusätzlichen Erkenntnisgewinn durch differenzierte Hausaufgaben an.

Schließlich erfolgt die *Wertung der Entdeckung des Gravitationsgesetzes für die Veränderung des Weltbildes*. Den Schülern wird bewußtgemacht, daß auch im Weltall physikalische Vorgänge nach physikalischen Gesetzen ablaufen, die vom Menschen erkannt werden können. Mit dieser Erkenntnis, so wird herausgestellt, brach die aus dem Altertum überlieferte Unterscheidung zwischen einer „irdischen Mechanik“ und einer „Himmelsmechanik“ zusammen.

Für eine solche inhaltliche Linienführung sind Betrachtungen zum Gravitationsfeld ohne Bedeutung, weshalb darauf verzichtet wird. Auch die Keplerschen Gesetze sind in ihrer Gesamtheit dafür nicht nötig; sie werden im Astronomieunterricht behandelt.

Die Schüler sollen folgendes grundlegendes *Wissen und Können* erwerben:

- Gravitation, Gravitationskräfte und Interpretieren des Gravitationsgesetzes;
- Berechnen der Gravitationskräfte zwischen zwei Körpern;
- Gewichtskraft als Gravitationskraft zwischen der Erde und dem Körper;
- Berechnen der Masse der Erde und der Masse der Sonne;
- Abhängigkeit der Fallbeschleunigung vom Abstand zur Erde;
- erste kosmische Geschwindigkeit.

### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierendes Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<b>Gravitation</b> Entwicklung des Weltbildes Gravitationsgesetz Gravitationskonstante  2 Std.	Frühbürgerliche Revolution (Ge 6) Die großen Entdeckungen (Ge 7) Wechselwirkung, Radialkraft, Interpretieren (Ph 9)	T-R 96 Fo: Bestimmung der Gravitationskonstanten SV: I. Newton
<b>Gravitationskräfte</b> Berechnung von Gravitationskräften Gewichtskraft Fallbeschleunigung  1 Std.	Grundgesetz der Dynamik, Fallbeschleunigung, Gewichtskraft (Ph 9)	

<p><i>Anwendung des Gravitationsgesetzes</i>  Masse zentraler Himmelskörper  Kosmische Geschwindigkeit  Satellitenbahnen  Wertung der Leistung von I. Newton</p> <p style="text-align: right;">2 Std.</p>	Masse, Radialkraft, horizontaler Wurf, Leben Newtons (Ph 9)	R 823 Biographien bedeutender Physiker
---	---	---

## *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*

### **Gravitation**

2 Stunden

Ein stark auf die Grundlagen beschränkter historischer Abriss ermöglicht das Verständnis für die Leistung Newtons und macht den Fortschritt im Weltbild bewußt. Das durch Kepler geklärte „Wie“ der Bewegungen im Sonnensystem war Anlaß zur Frage nach dem „Warum“ und damit der Beginn von Forschungen, die zur Entdeckung des Gravitationsgesetzes durch Newton führten.

#### Ziele

Die Schüler

- kennen die Grundzüge der Entwicklung der Vorstellungen über unser Sonnensystem;
- kennen die Wirkung der Gravitation bei Planeten, beim Mond und bei Körpern auf der Erde;
- kennen das Gravitationsgesetz und können es interpretieren;
- kennen eine Möglichkeit der experimentellen Bestimmung der Gravitationskonstanten.

#### Unterrichtsmittel

T-R 96 „Vom geozentrischen zum heliozentrischen Weltbild“

Fo: „Bestimmung der Gravitationskonstanten“

#### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Entwicklung der Vorstellungen über das Sonnensystem.** Nach dem Anführen von Gründen für das Bedürfnis nach praktischer Astronomie im Altertum, sollten einige Fakten zum geozentrischen Weltbild genannt werden. Es entsprach der einfachen Anschauung (dem Schein) und wurde von den Vertretern der herrschenden Klasse über anderthalb Jahrtausende als das einzig denkbare System bezeichnet. Als das Wesentliche des copernicanischen Weltbildes kann die Zentralstellung der Sonne und die größere Einfachheit in der Beschreibung der Realität genannt werden. Die Erde verliert dabei ihre Sonderstellung als ruhender Bezugspunkt und Mittelpunkt der Welt und bleibt lediglich einer der kleinen Planeten mit ständiger Doppelbewegung. Erst auf der Grundlage dieses Weltbildes konnte Kepler seine Gesetze entdecken, von denen das erste in vereinfachter Formulierung genannt werden sollte. Den Begriff „kreisähnliche Bahnen“ könnte der Lehrer am Beispiel der Marsbahn erläutern. Wird diese Bahn im Maßstab 1:10<sup>12</sup> verkleinert, so kann sie als Kreis mit dem Radius von 23 cm angenähert werden. Die wahre Bahn würde dann nur 0,5 mm von dieser Kreisbahn abwei-

chen. Wir leiten daraus die Berechtigung ab, in den folgenden Stunden die Bahnen der Planeten als Kreisbahnen anzunähern, um damit die Bewegung der Himmelskörper mathematisch einfach beschreiben zu können. Gleichzeitig vermittelt uns das Beispiel einen Eindruck von der Genauigkeit der Messungen und Berechnungen Keplers. Aus T-R 96 könnten Dias gezeigt werden.

**Die Erarbeitung von Gravitation und Gravitationsgesetz.** Der Lehrer sollte, der Darstellung im Lehrbuch folgend, die Entdeckung der universellen Wechselwirkung durch Newton einführen. Den Schülern muß bewußt werden, daß die physikalische Größe Masse nicht nur die Trägheit, sondern auch die Eigenschaft der Körper, sich gegenseitig anzuziehen, erfäßt. Diese Eigenschaft besitzen irdische und außerirdische Körper in gleichem Maße, wodurch sowohl die Gewichtskraft als auch die Radialkraft auf Himmelskörper ihre Erklärung finden. Die mathematische Formulierung des Gesetzes wird den Schülern gegeben. Bei der anschlie-

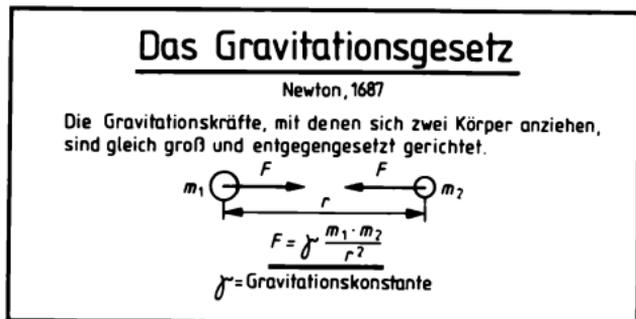


Bild 1 Tafelbild zum Gravitationsgesetz

Benden Interpretation sollte besondere Sorgfalt auf die Abhängigkeit der Gravitationskraft vom Abstand der Körper gelegt werden. Es kann erwähnt werden, daß die erste experimentelle Bestimmung der Gravitationskonstanten 1798 von Cavendish erfolgte. Die Beschreibung der experimentellen Bestimmung sollte im Unterricht anhand der Folie in Verbindung mit dem Lehrbuch vorgenommen werden (siehe auch PSE Historische Experimente).

### Gravitationskräfte

1 Stunde

Mit dem Gravitationsgesetz sollen Kräfte zwischen verschiedenen Körpern berechnet werden. Die Kenntnisse der Schüler über die Gewichtskraft und über die Fallbeschleunigung lassen sich vertiefen und erweitern.

### Ziele

#### Die Schüler

- erkennen, daß die Gravitationskräfte zwischen zwei Himmelskörpern sehr groß und zwischen zwei Körpern auf der Erde vernachlässigbar klein sind;
- wissen, wovon die Gewichtskraft eines Körpers abhängt;
- können die Abhängigkeit der Fallbeschleunigung eines Körpers vom Abstand zur Erde erklären.

**Gravitationskräfte zwischen zwei Himmelskörpern.** Um die Schüler an das Arbeiten mit dem Gravitationsgesetz heranzuführen, sollte anhand des Lehrbuchs die Berechnung der Gravitationskräfte zwischen Erde und Mond erarbeitet werden. Zur Übung könnte die numerische Lösung mit dem Taschenrechner nachvollzogen werden. Dabei müßte das Eingeben der Zehnerpotenzen reaktiviert und die Regel über die sinnvolle Genauigkeit angewendet werden. Anschließend daran könnten die Schüler selbständig die Gravitationskräfte zwischen Sonne und Erde berechnen. Um das Ausmaß dieser Kraft ( $F = 3,54 \cdot 10^{22}$  N) zu erfassen, könnte ein Vergleich mitgeteilt werden: Sollte diese Kraft von der Sonne zur Erde mit einem Stahlseil übertragen werden, so müßte es einen Querschnitt haben, der doppelt so groß wie der Äquatorquerschnitt der Erde ist, um der Belastung stand zu halten. Diese Riesenkraft vermag nicht mehr, als die Erde in 1 Sekunde um 3 mm aus einer Geraden abzulenken und sie dadurch auf eine geschlossene Bahn um die Sonne zu zwingen.

**Gravitationskräfte zwischen zwei Körpern auf der Erde.** Nach einer Aufgabe im Lehrbuch werden die Gravitationskräfte zwischen zwei Menschen berechnet, die sich im Abstand von 1 m befinden. An die Lösung ( $F = 2,8 \cdot 10^{-7}$  N) könnte sich die Frage anschließen: Warum nähern sich zwei Menschen nicht aufgrund der Gravitation an, wenn sie einander gegenüberstehen? Bei der Beantwortung wird die Reibungskraft (annähernd 30 % der Gewichtskraft) mit der Gravitationskraft verglichen.

**Gewichtskraft.** Zunächst ist mit dem Gravitationsgesetz zu erarbeiten, daß die Gewichtskraft eines Körpers im Anziehungsbereich eines Himmelskörpers abhängig ist von der Masse  $m_1$  des Himmelskörpers, von der Masse  $m_2$  des Körpers und von seinem Abstand  $r$  zum Mittelpunkt des Himmelskörpers.

Um den Unterschied der Gewichtskraft ein und desselben Körpers im Anziehungsbereich verschiedener Himmelskörper erklären zu können, sollten angenäherte Werte vorgegeben werden:

Körper	Radius	Masse
Erde	$r_E$	$m_E$
Mond	$\frac{1}{4} r_E$	$\frac{1}{80} m_E$
Mars	$\frac{1}{2} r_E$	$\frac{1}{10} m_E$

Beispiel für den Lösungsweg: Wenn der Abstand zum Mittelpunkt auf ein Viertel verkleinert wird (Übergang von Erde zum Mond), so vergrößert sich die Gewichtskraft auf das Sechzehnfache ( $F_G \sim \frac{1}{r^2}$ ). Wenn die Masse des Himmelskörpers nur  $\frac{1}{80}$  beträgt, so verkleinert sich auch die Gewichtskraft auf den achtzigsten Teil ( $F_G \sim m_1$ ). Durch beide Veränderungen nimmt das Gewicht des Körpers auf  $\frac{16}{80} = \frac{1}{5}$  (genauer  $\frac{1}{6}$ ) ab. Solches inhaltliches Lösen ist für das Entwickeln des funktionalen Denkens förderlich. Aus dem Grundgesetz der Dynamik und dem Gravitationsgesetz sollte schließlich eine Gleichung für die Fallbeschleunigung hergeleitet werden. Die Schüler sollen erleben, daß sich die Masse  $m_2$  des Körpers herauskürzt, also die Beschleunigung nicht von der Körpermasse abhängt, wie es aus experimentellen Untersuchungen der Klasse 9 bereits bekannt ist.

Für interessierte Schüler könnte folgende Hausaufgabe gestellt werden: An welcher Stelle zwischen Erde und Mond muß sich ein Körper befinden, damit die Gravitationskräfte zwischen ihm und der Erde bzw. dem Mond gleich groß sind?

## Ziele

## Die Schüler

- kennen zwei Ansätze zum Lösen vieler Aufgaben zur Gravitation;
- können den Lösungsweg zum Berechnen der Massen von Erde und Sonne kommentieren;
- können die erste kosmische Geschwindigkeit berechnen;
- sind über die Flugbahnen von Satelliten im Anziehungsbereich der Erde informiert.

## Unterrichtsmittel

R 823 „Bilder zum Planetensystem“

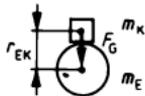
2 Maniperm-Haftplättchen mit  $\varnothing = 20$  mm1 Maniperm-Haftplättchen mit  $\varnothing = 12,5$  mm

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Masse von Himmelskörpern.** Die beiden Ansätze (Gravitationskraft = Gewichtskraft und Gravitationskraft = Radialkraft) sollten mit Hilfe des Lehrbuches erarbeitet werden. Der Lehrer könnte danach die Frage stellen: „Woher kennt man eigentlich die Massen von Erde und Sonne?“ Nun sollte die Aufgabe zur Masse der Erde anhand des Lehrbuches durchgearbeitet werden. Die Umformungen könnten die Schüler an der Tafel vornehmen. Anschlie-

## Die Masse von Himmelskörpern

Die Masse der Erde  $m_E$



Ansatz  $F = F_G$

Einsetzen der Gleichungen

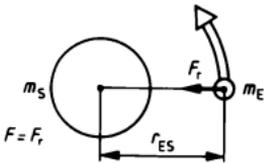
$$G \frac{m_E \cdot m_K}{r_{EK}^2} = m_K \cdot g$$

Lösung

$$\underline{m_E = 6 \cdot 10^{24} \text{ kg}}$$

Vergleich

Die Masse der Sonne  $m_S$



$F = F_r$

$$G \frac{m_E \cdot m_S}{r_{ES}^2} = m_E \frac{4 \pi^2 r_{ES}}{T^2}$$

Lösung

$$\underline{m_S = 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}}$$

Vergleich  $m_S \approx 300\,000 m_E$

Bild 2 Tafelbild zur Masse von Himmelskörpern

Bend sollte die Masse der Sonne berechnet werden. Die Beispiele müssen für die Schüler erlebbar machen, welche Möglichkeiten die mathematische Formulierung des Gravitationsgesetzes bietet: Zeit- und Längenmessungen sowie Rechnungen genügen, um die riesigen Zentralkörper im Weltall zu „wägen“.

**Isaac Newton.** In einem Schülervortrag könnten wichtige Daten aus dem Leben des Entdeckers des Gravitationsgesetzes dargelegt werden. Die Kenntnisse aus der Stoffeinheit „Dynamik“ der Klasse 9 sind dabei zu reaktivieren. Anschließend sollte im Gespräch eine Antwort gesucht werden auf die Frage: „Was konnte Newton alles mit dem Gravitationsgesetz erklären?“ So lassen sich außer den Bewegungen von Planeten, Satelliten und Kometen auch die Bahnstörungen der Planeten verständlich machen (immerhin übt der Neptun auf die Erde noch eine Kraft von  $F = 18 \cdot 10^{10}$  N aus). Bei der Erklärung von Ebbe und Flut könnte das Dia 8 eingesetzt werden. Den Schülern ist bewußt zu machen, daß die Gravitation eine allumfassende Wechselwirkung ist.

**Satelliten auf der Kreisbahn.** Die Gleichung zum Berechnen der Bahngeschwindigkeit eines Satelliten auf der Kreisbahn ist herzuleiten. Die erste kosmische Geschwindigkeit ( $v_K = 7,9 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ) wird besonders gekennzeichnet. Danach sollte die Abhängigkeit der Bahngeschwindigkeit von der Höhe aus der Struktur der Gleichung verständlich gemacht werden. Diese Abhängigkeit könnte auch in einem Modellexperiment nachvollzogen werden. Dazu werden zwei Maniperm-Haftplättchen mit  $\varnothing = 20 \text{ mm}$  übereinandergestapelt und auf die Arbeitsfläche des Polylyx gelegt. Ein kleineres Haftplättchen wird an einem Faden befestigt (Pappscheibe mit Loch, durch das der Faden geführt wird, aufkleben). Das Fadenpendel wird dicht unter dem Objektiv an ein Stativ gehängt und auf einer Kreisbahn um die größeren Magneten bewegt. Die Bahngeschwindigkeit nimmt mit Annäherung an den „Zentralkörper“ zu.

In die Diskussion könnten auch energetische Betrachtungen einbezogen werden. Mit zunehmender Höhe des Satelliten nimmt zwar die Bahngeschwindigkeit ab, jedoch steigt die Gesamtenergie. Um eine Höhe von 300 km zu erreichen, ist je 1 kg Masse des Satelliten eine Energie von 33 MJ aufzuwenden, was der Energie entspricht, um 330 Betonplatten mit 1 t Masse um 10 m hochzuheben. Ein Eindruck von der Größe der kinetischen Energie der Satelliten ließe sich durch folgenden Vergleich gewinnen: Ein Satellit mit 1 t Masse besitzt bei der ersten kosmischen Geschwindigkeit soviel kinetische Energie wie 100 000 Pkw bei einer Geschwindigkeit von  $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

Mit den Schülern könnte über das Problem der unterschiedlichen Nutzung von Satelliten gesprochen werden. Als besonderer Typ könnten die geostationären Satelliten herausgegriffen werden. Die Berechnung ihrer Höhe ( $h = 35\,800 \text{ km}$ ) und ihrer Bahngeschwindigkeit ( $v = 3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ) wäre möglich. Es ließe sich erwähnen, daß solche Satelliten für die Schaffung weltweiter Relaisstationen für Raumfahrtunternehmen und für die Verteilung von Fernsehprogrammen von größter Bedeutung sind.

**Verschiedene Satellitenbahnen.** Abschließend sollte erörtert werden, wie die Bahnform eines Satelliten von seiner Geschwindigkeit abhängt, die er an einem Punkt der erdnahen Umlaufbahn hat. Auf die zweite kosmische Geschwindigkeit ( $v_P = 11,2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ ), bei der der Satellit aus dem Anziehungsbereich der Erde entweicht, ist hinzuweisen.

## Ziele und inhaltliche Schwerpunkte

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen die *Beschreibung und die Erklärung der Entstehung von ungedämpften und gedämpften mechanischen Eigenschwingungen sowie von erzwungenen Schwingungen einschließlich der Resonanz*. Zur Beschreibung von Schwingungsvorgängen werden die physikalischen Größen Auslenkung, Amplitude, Periodendauer und Frequenz eingeführt. In dieser Stoffeinheit wird die Grundlage für die nachfolgende Behandlung der mechanischen Wellen, des Wechselstroms, des Schwingkreises und der Hertzschen Wellen geschaffen.

Bei der Behandlung der mechanischen Schwingungen empfiehlt sich ein methodischer Weg, der von der kinematischen Betrachtungsweise zur dynamischen führt, entsprechend folgt auf die Beschreibung von mechanischen Schwingungen die Klärung der Voraussetzungen für das Entstehen einer mechanischen Schwingung. Am Ende der Stoffeinheit schließt sich der Betrachtungskreis, und es wird noch einmal zur Definition einer mechanischen Schwingung zurückgekehrt. Besonders im Hinblick auf die weitere Verwendung des Schwingungsbegriffs bei der Behandlung des Schwingkreises wird dieser verallgemeinert, indem nur noch die kinematischen Kennzeichen einer Schwingung hervorgehoben werden.

Bei der Einführung in die Stoffeinheit sollte mit Beispielen (z. B. vibrierende Teile von Fahrzeugen oder Maschinen, Schaukel, Uhrpendel) und einigen Experimenten die Bedeutung der mechanischen Schwingungen in der Praxis gezeigt und damit die Behandlung der mechanischen Schwingungen motiviert werden.

Die zur Beschreibung und Erklärung der mechanischen Schwingungen notwendigen Begriffe werden an (idealisierten) ungedämpften sinusförmigen Schwingungen eingeführt. Anschließend erfolgt die Behandlung der realen Eigenschwingungen und schließlich der erzwungenen Schwingungen mit dem für Anwendungen wichtigen Resonanzfall. Bei der Einführung der zur Beschreibung und Erklärung einer mechanischen Schwingung erforderlichen physikalischen Größen ist es für das Verständnis und das Einprägen der Begriffsinhalte auch in dieser Stoffeinheit notwendig, erst die qualitativen Begriffsmerkmale herauszuarbeiten und danach die Definition folgen zu lassen.

Der Federschwinger und das Fadenpendel sind die Grundlagen der Behandlung der mechanischen Schwingungen, wobei der Federschwinger im Mittelpunkt der Betrachtungen steht. Viele in der Praxis wichtige Fälle (z. B. vibrierende Maschinenteile) lassen sich auf den Federschwinger zurückführen, bei dem die Periodendauer der Schwingung von der Masse des Körpers abhängt. Dagegen ist die Schwingung des Fadenpendels im Schwerfeld der Erde ein Sonderfall; und nur in diesem Sonderfall ist die Periodendauer von der Masse des schwingenden Körpers unabhängig.

Die grundlegende Experimentieranordnung bildet der horizontale Federschwinger mit einem Hakenkörper und zwei Schraubenfedern. Um eine möglichst große Periodendauer zur guten Beobachtung des Ablaufs einer Periode zu erzielen, werden die Masse des schwingenden Körpers groß und die Härte der Federn möglichst gering gehalten. Besonders gut lassen sich die Schwingungen des horizontalen Federschwingers mit der Luftkissenbahn demonstrieren. Die Anordnung läßt sich zur Demonstration gedämpfter und erzwungener Schwingungen leicht umgestalten.

Mit der in der Definition der mechanischen Schwingung enthaltenen Festlegung „... Bewegung eines Körpers um seine Gleichgewichtslage“ wird erreicht, daß nur schwingende Körper betrachtet werden, die zu einer Eigenschwingung mit einer Eigenfrequenz fähig sind. Bei diesen schwingenden Körpern tritt bei Erregung zu erzwungenen Schwingungen im Sonder-

fall Resonanz auf. Zeitlich periodisch bewegte Körper, die sich nicht um eine Gleichgewichtslage bewegen, wie Kolben in einem Zylinder, Flügel eines Vogels, Aufzüge u. a., gehören nicht zu dieser Gruppe der zu behandelnden schwingenden Körper.

Die *Gleichungen für die Periodendauer* des Federschwingers und des Fadenpendels sowie deren Gültigkeitsbedingungen werden den Schülern gegeben. Bei der Behandlung dieser Gleichungen werden mit der Wurzelfunktion die in Klasse 10 vorliegenden erhöhten mathematischen Kenntnisse der Schüler gefordert und angewendet.

In den nachfolgenden Unterrichtsabschnitten werden zunächst die bei realen Schwingungen stets vorliegenden *gedämpften* Schwingungen behandelt und mit energetischen Betrachtungen verbunden.

Die Stoffeinheit schließt mit der Behandlung der Eigenschwingungen und der erzwungenen Schwingungen ab, wobei der wichtige Resonanzfall und seine Bedeutung in der Technik herausgehoben wird.

Besonders beim Beobachten, Beschreiben und Erklären von Schwingungsvorgängen sowie beim Erläutern von Anwendungen soll die Fähigkeit des sprachlichen Ausdrucks weiterentwickelt werden. Zur Erhöhung der geistigen Aktivität der Schüler und zur Entwicklung der Selbständigkeit beim Wissenserwerb und bei der Festigung des Wissens soll insbesondere mit dem Lehrbuch und anderer Literatur gearbeitet werden. Den Schülern soll bewußtgemacht werden, daß mit der Kenntnis der Gesetze bei mechanischen Schwingungen ihre Fähigkeit zugenommen hat, Vorgänge in Natur und Technik zu verstehen.

Die Schüler sollen folgendes grundlegendes *Wissen und Können* erwerben:

- Physikalische Bedeutung der Größen Auslenkung, Amplitude, Periodendauer und Frequenz;
- Definition der mechanischen Schwingung;
- Interpretieren des  $y-t$ -Diagramms für ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen;
- Interpretieren und Anwenden der Gleichung für die Periodendauer des Federschwingers;
- Energieumwandlungen bei ungedämpften und bei gedämpften Schwingungen;
- Eigenschwingungen, erzwungene Schwingungen und Resonanz.

### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierendes Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<p><i>Beschreibung einer mechanischen Schwingung</i>  <b>Mechanische Schwingungen in Natur und Technik</b>                      Definition der mechanischen Schwingung                      Physikalische Größen zur Beschreibung einer mechanischen Schwingung                      Gleichung <math>f = \frac{1}{T}</math>                      Schallschwingungen</p> <p style="text-align: right;">2 Std.</p>	Grundbegriffe der Kinematik, Beschreibung von Bewegungen Trägheitsgesetz, Newtonsches Grundgesetz (Ph 9) Sinusfunktion (Ma 10)	DE: Kranmodell DE: Verschiedene schwingende Körper DE: Aufzeichnung einer Schwingung DE: Stimmgabel mit Schreibspitze DE: Oszillogramm von Schallschwingungen

<p><i>Periodendauer eines Federschwingers und eines Fadenpendels</i>          Abhängigkeit der Periodendauer eines Federschwingers von der Masse          Abhängigkeit der Periodendauer eines Federschwingers von der Härte der Feder          Federkonstante          Gleichungen für die Periodendauer</p> $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ und}$ $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$ <p style="text-align: right;"><b>2 Std.</b></p>	<p><b>Zeitmessung</b>  <b>Wurzelfunktion (Ma 9)</b>          Interpretation von Diagrammen und von Gleichungen (Ph 9)          Zusammenhang von <math>\Delta l</math> und <math>F</math> (Ph 6)</p>	<p>SE: Abhängigkeit der Periodendauer des Federschwingers von der Masse (vertikaler Federschwinger)          DE: Federhärte          SE: Bestimmung der Federkonstanten und Bestätigung berechneter Periodendauern          DE: Fadenpendel          SV: Zum Fadenpendel</p>
<p><i>Ungedämpfte, gedämpfte und erzwungene Schwingungen</i>          Gedämpfte Schwingungen          Energieumwandlungen bei ungedämpften und gedämpften Schwingungen,          Eigenschwingungen, erzwungene Schwingungen und Resonanz</p> <p style="text-align: right;"><b>2 Std.</b></p>	<p>Definition der Schwingung          Kinetische und potentielle Energie (Ph 9)          Potentielle Energie einer elastisch verformten Feder (Ph 7)</p>	<p>DE: Aufzeichnung einer gedämpften Schwingung          DE: Resonanz          SV: Beispiele für die Anwendung der Resonanz. Demonstration des Zungenfrequenzmessers</p>
<p><i>Systematisierung und Anwendung</i>          Verallgemeinerung des Schwingungsbegriffs          Systematisierung          Beispiele für Resonanz          Kurzkontrolle</p> <p style="text-align: right;"><b>1 Std.</b></p>		<p>DE: Zungenfrequenzmesser          USF: Mechanische Schwingungen</p>

## *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*

### **Beschreibung einer mechanischen Schwingung**

2 Stunden

Die mechanischen Schwingungen werden als eine spezielle Form der mechanischen Bewegungen behandelt.

Es werden die physikalischen Größen Auslenkung, Amplitude, Periodendauer und Frequenz eingeführt. Die Gleichung  $f = \frac{1}{T}$  wird behandelt.

Ziele

Die Schüler

– wissen, daß eine mechanische Schwingung eine periodische Bewegung eines Körpers um seine Gleichgewichtslage ist;

- kennen die physikalischen Größen Auslenkung  $y$ , Periodendauer  $T$ , Frequenz  $f$ , Amplitude  $y_{\max}$  sowie die Gleichung  $f = \frac{1}{T}$  und können die Schwingung eines horizontalen Federschwingers beschreiben;
- können das  $y$ - $t$ -Diagramm einer sinusförmigen Schwingung zeichnen und aus einem gegebenen Diagramm Amplitude, Periodendauer und Frequenz bestimmen;
- können mit Hilfe der zur Gleichgewichtslage rücktreibenden Kraft und der Trägheit die Entstehung einer Schwingung beim Federschwinger und beim Fadenpendel erklären.

#### Unterrichtsmittel

Spielzeugkran	Zentraluhr
Blattfeder (mit Schreibspitze)	Polylux
2 Schraubenfedern gleicher Härte	Lautsprecher – hochohmig
Stimmgabel mit Schreibspitze	Demonstrationsoszillograph
Luftkissenbahn	Universalgenerator UVG 2 Gitarre (Violine)

#### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung in die Stoffeinheit.** Mit einem Spielzeugkran können das Pendeln einer Last und die dabei auftretenden möglichen Gefährdungen von Menschen und Material vom Lehrer oder einem Schüler demonstriert werden. Das Kranbeispiel und eine kurze Diskussion mehrerer weiterer Beispiele aus Natur und Technik sollen die Bedeutung mechanischer Schwingungen erkennen lassen und somit der Motivierung für die nächsten Stunden dienen.

**Definition der mechanischen Schwingung.** Die Bewegung verschiedener schwingender Körper wird beobachtet und verglichen. Es ist zweckmäßig, den horizontalen und den vertikalen Federschwinger, das Fadenpendel, eine Blattfeder und andere schwingende Körper zu demonstrieren. Durch Herausstellen der Gemeinsamkeiten gelangt man zur Definition, dabei werden die Begriffe Gleichgewichtslage und Umkehrpunkt verwendet. Die Schüler sollten angehalten werden, beim Erläutern von Beispielen für mechanische Schwingungen stets die Definition der mechanischen Schwingung anzuwenden. Sie sollten prüfen, ob beide Kennzeichen einer mechanischen Schwingung im konkreten Fall vorliegen:

- Bewegung eines Körpers um seine Gleichgewichtslage,
- periodische Bewegung.

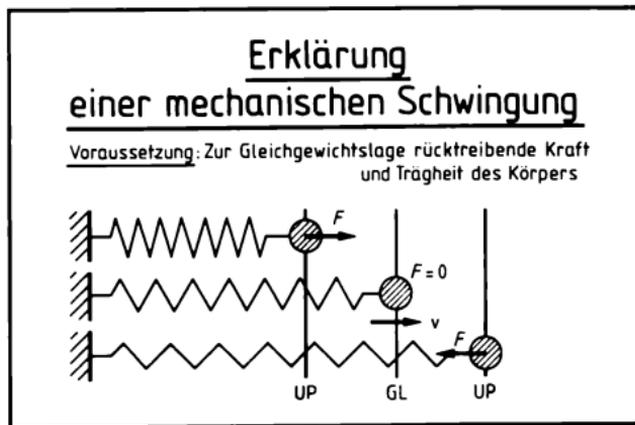


Bild 3 Tafelbild zur Erklärung einer mechanischen Schwingung

Zur Festigung des Wissens wird empfohlen, in Übungen oder Wiederholungen aus einer Anzahl von Beispielen periodischer Bewegungen die Schwingungen herausfinden und die Entscheidung begründen zu lassen oder Beispiele nennen und erläutern zu lassen.

**Physikalische Größen zur Beschreibung einer mechanischen Schwingung.** Es sollte die Bewegung eines horizontalen Federschwingers mit möglichst großer Periodendauer und Amplitude demonstriert werden und die Schüler sollten zur Beobachtung und Beschreibung der Bewegung des Körpers aufgefordert werden. Aus Gründen der Zweckmäßigkeit werden zunächst die physikalischen Größen Auslenkung und Amplitude eingeführt. Mit diesen Größen und der Geschwindigkeit kann nun die Bewegung eines schwingenden Körpers beschrieben werden. Die Größen Periodendauer und Frequenz können durch einen Lehrvortrag oder durch Lesen des entsprechenden Lehrbuchabschnitts eingeführt werden. Die Periodendauer wird durch  $T = \frac{t}{n}$  bestimmt. In jedem Fall sollten die entsprechenden Größen gemessen werden. Den Schülern sollte an Beispielen klagemacht werden, daß Periodendauer und Frequenz zur Beschreibung derselben Eigenschaft von schwingenden Körpern – der zeitlichen Periodizität – dienen und daß sich die Gleichung  $f = \frac{1}{T}$  aus der Definition der Größen ergibt.

In den vorliegenden Fällen kann ein verkürzter Weg der Einführung von physikalischen Größen gegangen werden. Es handelt sich hier um spezielle, der Beschreibung von Schwingungen angepaßte Größen, die auf die bereits bekannten physikalischen Größen Länge und Zeit zurückzuführen sind.

**Festigung der Größen zur Beschreibung einer mechanischen Schwingung.** Die zur Beschreibung einer mechanischen Schwingung eingeführten speziellen Größen Auslenkung, Amplitude, Periodendauer und Frequenz sowie die Gleichung  $f = \frac{1}{T}$  sollten so behandelt werden, daß sie von jedem Schüler exakt erfaßt und jederzeit angewendet werden können. Das betrifft die Definition, die Einheit, das Formelzeichen und die Messung dieser Größen sowie deren Bestimmung aus einem vorgegebenen  $y$ - $t$ -Diagramm. Desgleichen ist die Umrechnung von Periodendauern in Frequenzen und umgekehrt wiederholt zu üben, auch bei Aufgaben zur Berechnung und Messung der Periodendauer des Federschwingers und des Fadependels.

Zum Üben und Festigen der physikalischen Größen zur Beschreibung einer Schwingung kann Folie 1 eingesetzt werden.

**$y$ - $t$ -Diagramm einer sinusförmigen Schwingung.** Es wird empfohlen, mit der Demonstration der Aufzeichnung einer sinusförmigen Schwingung zu beginnen: Mit Hilfe eines (Blatt-) Federschwingers wird eine Schwingung auf einer Folie aufgezeichnet und mit dem Polylux

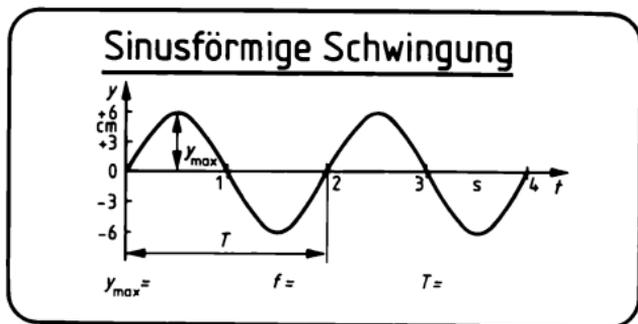


Bild 4 Folie zur sinusförmigen Schwingung

projiziert. Das Experiment wird erst ohne und dann mit „Zeitablenkung“ demonstriert, indem die Folie gleichmäßig über den Polylux gezogen wird ( $\sphericalangle$  LBA 19/1). Mit der Schreibstimmgabel kann die Vermutung bestätigt werden, daß es eine ganze Reihe von schwingenden Körpern gibt, die sinusförmige Schwingungen ausführen.

In dem auf Folie aufgezeichneten  $y$ - $t$ -Diagramm (Bild 4) können die Schüler die Größen  $y_{\max}$ ,  $T$  und  $f$  bestimmen. Die Ermittlung dieser Größen kann auch an der LBA 19/2 oder LBA 19/3 erfolgen.

**Anwendung der Kenntnisse auf Schallschwingungen.** Bei den Experimenten und Aussagen zu den Schallschwingungen sollte die Anwendung der bisher erworbenen Kenntnisse im Vordergrund stehen. Die Zusammenhänge zwischen Tonhöhe und Frequenz sowie zwischen Lautstärke und Amplitude können mit Hilfe eines Oszillographen demonstriert werden. Als Mikrofon dient ein Schullautsprecher. Besonders wichtig ist das vergleichende Ablesen der Amplituden, Periodendauern und Frequenzen vom Oszillogramm und das Formulieren halbquantitativer Aussagen durch die Schüler.

## **Periodendauer eines Federschwingers und eines Fadenpendels**

2 Stunden

Die Untersuchung eines vertikalen Federschwingers im Schülerexperiment soll die Schüler befähigen, die Abhängigkeit der Periodendauer eines Federschwingers von der Masse selbstständig zu erkennen. Die Gleichungen für die Periodendauer eines Federschwingers und eines Fadenpendels werden den Schülern gegeben, danach interpretiert und angewendet. Das Ergebnis der Berechnung für den Federschwinger wird in einem Schülerexperiment überprüft. Die Anwendung und damit Festigung der in den ersten Stunden erworbenen Kenntnisse zur Beschreibung und Erklärung von Schwingungen bildet einen weiteren Schwerpunkt.

### Ziele

#### Die Schüler

- können ein Experiment zum Nachweis der Abhängigkeit der Periodendauer eines Federschwingers von der Masse planen, durchführen und auswerten;
- kennen die physikalische Größe Federkonstante und deren Definitionsgleichung;
- kennen die Gleichungen für die Periodendauer eines Federschwingers sowie eines Fadenpendels und können sie interpretieren;
- können Experimente zur Bestimmung der Federkonstanten und zur Bestätigung der damit berechneten Periodendauer des Federschwingers planen, durchführen und auswerten.

### Unterrichtsmittel

2 unterschiedliche Schraubenfedern, Kraftmesser, Hakenkörper, Lineal  
Geräte für SE: 2 Schraubenfedern unterschiedlicher Härte  
Stoppuhr, Hakenkörper, Lineal

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Abhängigkeit der Periodendauer eines Federschwingers von der Masse (Variante A).** In einem Experiment werden den Schülern die unterschiedlichen Periodendauern zweier Federschwinger mit unterschiedlicher Masse demonstriert. Er wird damit motiviert zu untersuchen, von welchen Größen die Periodendauer eines Federschwingers abhängt.

Danach kann das Schülerexperiment durchgeführt werden. Dafür wird folgendes Vorgehen

empfohlen: Vor Beginn des Experiments wird noch einmal das Zeitmeßverfahren ( $T = \frac{t}{n}$ ) demonstriert und erläutert. Ein Schüler mißt die Zeit, ein anderer zählt halblaut die Schwingungen 3, 2, 1, 0, 1, 2, ... 9, 10. Bei „0“ beginnt die Zeitmessung. Die für  $n = 10$  erzielbare Genauigkeit ist selbst bei Einsatz einer Demonstrationsstoppuhr als Zeitmesser ausreichend.

Für den Erfolg des Experiments ist das vorsichtige Anregen von Schwingungen mit *kleinen Amplituden* entscheidend.

Bei der Interpretation des im Schülerexperiment gewonnenen Diagramms sollen nur eine Aussage wie im Lehrbuch und die Erklärung erreicht werden. Der Zusammenhang  $T \sim \sqrt{m}$  wird mitgeteilt.

#### **(Variante B)**

Wie bei der Variante A werden die Schüler durch ein Demonstrationsexperiment motiviert, den Zusammenhang zwischen der Periodendauer und der Masse des schwingenden Körpers zu untersuchen. Im Gegensatz zur Variante A wird das im Schülerexperiment erhaltene Diagramm quantitativ ausgewertet. Die Schüler finden durch Interpretation des Diagramms den Zusammenhang  $T \sim \sqrt{m}$ .

**Abhängigkeit der Periodendauer eines Federschwingers von der Härte der Feder.** Die Federkonstante  $k$  sowie deren Definitionsgleichung  $k = \frac{F}{l}$  können ausgehend von einem Demonstrationsexperiment, in dem die Dehnung einer Schraubenfeder in Abhängigkeit von der wirkenden Kraft untersucht wird, eingeführt werden. Danach kann in einem Demonstrationsexperiment (halbquantitativ) der Einfluß der Federkonstanten auf die Periodendauer untersucht werden.

Es ist zweckmäßig, die Abhängigkeit der Periodendauer von der Härte der Feder mit zwei bis drei Federn unterschiedlicher Härte an einem vertikalen Federschwinger zu demonstrieren. Durch einen Hakenkörper wird die Feder etwas vorgespannt. Die zur Gleichgewichtslage rücktreibende Kraft wird mit einem Kraftmesser gemessen, wobei die Kraftrichtung mit einer Umlenkrolle um  $180^\circ$  verändert wird. Die Federkonstante wird als Materialkonstante eingeführt, welche die Härte einer Feder charakterisiert.

**Gleichung für die Periodendauer eines Federschwingers.** Nachdem die Abhängigkeiten  $T \sim \sqrt{m}$  und  $T \sim \sqrt{\frac{1}{k}}$  erkannt wurden, werden den Schülern die Gleichung  $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$  und ihre Gültigkeitsbedingungen mitgeteilt.

Zur Motivierung können die Schüler auf die große Bedeutung der Gleichung zur Berechnung der Periodendauern bzw. Frequenzen für technische Federschwinger und Pendel (gefederte Fahrzeuge, auf federnden Unterlagen stehende Maschinen, Pendel oder Unruh bei Uhren) verwiesen werden.

Das Interpretieren der Gleichung sollen die Schüler weitgehend selbständig entsprechend den in Klasse 9 beim Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung eingeführten Handlungsschritten vornehmen. Zur Unterstützung bei der Ausführung dieser Tätigkeit kann die Übersicht im Lehrbuch herangezogen werden.

Mit einem Schülerexperiment überzeugen sich die Schüler von der Richtigkeit der mitgeteilten Gleichung. Sie berechnen mit der Gleichung mehrere Periodendauern und bestätigen diese experimentell.

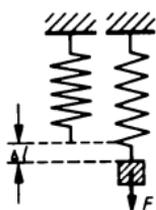
Zur Ermittlung der Federkonstanten kann die Gewichtskraft von Hakenkörpern, die an die Feder gehängt werden, verwendet werden.

**Gleichung für die Periodendauer eines Fadenpendels.** Die Gleichung für die Periodendauer des Fadenpendels kann in ähnlicher Weise, jedoch auf abgekürztem Wege eingeführt werden.

Beide Gleichungen sollten in verschiedenen Beispielen angewendet werden.

## Periodendauer des Federschwingers

Federkonstante:  
Maß für die Federhärte



$$k = \frac{F}{\Delta l}$$

Einheit:  
 $1 \frac{\text{N}}{\text{m}}$

Periodendauer:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$T \sim \sqrt{m}$  für  $k = \text{konstant}$

$T \sim \frac{1}{\sqrt{k}}$  für  $m = \text{konstant}$

Gültigkeitsbedingung:

$$m_{\text{Feder}} \ll m$$

Bild 5 Tafelbild zur Periodendauer des Federschwingers

### Ungedämpfte, gedämpfte und erzwungene Schwingungen

2 Stunden

In dieser thematischen Einheit erfolgt die Betrachtung von gedämpften Schwingungen, die im Realfall bei einmaligem Anstoß stets vorliegen. Zum tieferen Verständnis des physikalischen Vorgangs werden die vor sich gehenden Energieumwandlungen behandelt.

Besondere Bedeutung kommt den erzwungenen Schwingungen und hier besonders dem Resonanzfall zu. Anhand von Demonstrationen und von Beispielen sollen die Schüler den Nutzen, aber auch die schädlichen Auswirkungen der Resonanz erkennen. Auf die Energieübertragung durch Kopplung ist im Hinblick auf die nachfolgende Behandlung der Wellen einzugehen.

#### Ziele

##### Die Schüler

- kennen die Ursache der Dämpfung bei gedämpften Schwingungen und können die Energieumwandlungen bei ungedämpften und gedämpften Schwingungen beschreiben;
- können  $y$ - $t$ -Diagramme für ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen zeichnen und interpretieren;
- wissen, was man unter Eigenschwingungen, erzwungenen Schwingungen sowie unter Resonanz versteht, und kennen die Resonanzkurve;
- können ihre Kenntnisse über erzwungene Schwingungen zur Lösung praktischer Probleme anwenden.

#### Unterrichtsmittel

Polylux  
Blattfeder mit Schreibspitze  
Hakenkörper  
2 Federn  
Elektromotor mit Exzenter

**Gedämpfte Schwingungen.** Die Motivierung kann am Beispiel schwingender Auto- oder Motorräder erfolgen. Die Aufzeichnung des  $y$ - $t$ -Diagramms einer gedämpften Schwingung kann mit der Anordnung nach LBA 26/1 erreicht werden, nur mit entsprechend stark vergrößerter Dämpfung. Den Schülern sollte verdeutlicht werden, daß bisher der Einfachheit halber nur Schwingungen betrachtet wurden, bei denen die Reibungskraft relativ klein, also vernachlässigbar war, nun aber u. a. wegen der großen praktischen Bedeutung Schwingungen mit Reibung, d. h. gedämpfte Schwingungen, betrachtet werden.

**Energieumwandlungen bei ungedämpften und gedämpften Schwingungen.** Die Kenntnisse der Schüler über Energieformen und Energieumwandlungen aus den Klassen 7, 8 und 9 sollten reaktiviert werden. Die Erarbeitung kann durch selbständige Arbeit mit dem Lehrbuch erfolgen.

**Eigenschwingungen, erzwungene Schwingungen und Resonanz.** Neu einzuführen sind die Begriffe Eigenschwingung und erzwungene Schwingung sowie Eigenfrequenz und Erregerfrequenz. Damit sich die Schüler diese neuen Begriffe gut einprägen, ist es günstig, sie paarweise zu behandeln.

Zur Motivierung und Problemstellung kann ein Modellexperiment zur Brückenresonanz vorgeführt und diskutiert werden. Hinweis zum Demonstrationsexperiment: In der Mitte einer an ihren Enden gelagerten dünnen Holzleiste wird ein regelbarer (Spielzeug-) Elektromotor mit Exzenter angebracht. Für die Schüler muß deutlich werden, daß sich bei Änderung der Motordrehzahl die Erregerfrequenz ändert. Die Demonstration erzwungener Schwingungen und die Aufnahme der Resonanzkurve kann mit einem Demonstrationsexperiment entsprechend LBA 28/3 vorgenommen werden. Die Aufmerksamkeit der Schüler sollte nicht auf die Einschwingvorgänge, sondern nach erfolgtem Einschwingen auf den Zusammenhang von Erregerfrequenz und Amplitude gerichtet werden. Sollten beim Experiment Schwebungen auftreten, ist die Dämpfung zu vergrößern. Es genügt, die Amplituden bei drei bis fünf Frequenzen in der Umgebung der Eigenfrequenz des Federschwingers zu messen und die Meßwerte in einem Diagramm an der Tafel darzustellen. Da für die Schüler ein  $y_{\max}$ - $f$ -Diagramm völlig neu ist, sollten sie auf diese Weise sein Entstehen miterleben. Anhand der Experimente und des Diagramms kann der Begriff Resonanz und die Resonanzbedingung eingeführt werden. Der Hinweis auf die kritische Frequenz bei einem System Maschine-Fundament und auf deren Berechnung kann im Zusammenhang mit der Aufgabe 2 im Lehrbuch, S. 25, erfolgen.

Bei den Beispielen zur Nutzung der Resonanz ist auch die Erzeugung ungedämpfter Schwingungen zu behandeln.

### Systematisierung und Anwendung

1 Stunde

#### Ziele

Die Schüler

- wissen, daß sich bei einer Schwingung physikalische Größen zeitlich periodisch ändern;
- wiederholen ihre Kenntnisse über mechanische Schwingungen;
- besitzen systematische und anwendungsbereite Kenntnisse über mechanische Schwingungen.

Zungenfrequenzmesser  
Elektromotor mit kleiner Unwucht  
USF: Mechanische Schwingungen

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Verallgemeinerung des Schwingungsbegriffs.** Damit die Schüler u. a. auch elektromagnetische Schwingungen als Schwingung erkennen können, erfolgt die Verallgemeinerung des Schwingungsbegriffs. Die Erkenntnis, daß sich bei einer Schwingung physikalische Größen zeitlich periodisch ändern, wurde bereits in den ersten Stunden dieser Stoffeinheit vorbereitet.

**Systematisierung.** Es wird empfohlen, die Zusammenfassung des Lehrbuchs bei der Systematisierung der Kenntnisse heranzuziehen. Die Schüler sollen anhand der Übersicht die Logik des Stoffaufbaus und -inhalts erkennen. Es sollte beachtet werden, daß nun von den Voraussetzungen für das Zustandekommen einer mechanischen Schwingung, den wirkenden Kräften sowie den Energien und ihren Umwandlungen ausgegangen wird und die auftretenden Erscheinungen abgeleitet werden. Damit die Systematisierung einen nachhaltigen Einfluß auf die Systemhaftigkeit und Dauerhaftigkeit des Wissens der Schüler hat, sollte die Übersicht auch bei späteren Wiederholungen genutzt werden.

**Befähigen der Schüler zum Erläutern von Beispielen.** Die notwendige Steigerung der Anforderungen an die Schüler beim Erläutern von Beispielen für die Nutzung bzw. für die Verhinderung der Resonanz wird vor allem in der durchdachten, logisch klaren Aufeinanderfolge von Aussagen, in der präzisen Verwendung der Fachsprache und im höheren Selbständigkeitsgrad der Schüler ihren Ausdruck finden.

Bei der Erläuterung von Beispielen kommt es stets darauf an, die physikalisch wesentlichen Teile einer technischen Anordnung, die physikalischen Zusammenhänge und Vorgänge zu erkennen und sprachlich oder eventuell auch zeichnerisch mit Hilfe von Skizzen darzustellen. Keinesfalls soll die Darstellung vieler technischer Details dominieren. Bei der Erläuterung von Beispielen für das Auftreten, für die Nutzung und für die Verhinderung der Resonanz sollten erkannt werden:

- der Erreger und die Erregerfrequenz,
- die Kopplung zur Energieübertragung,
- der schwingende Körper und die Eigenfrequenz,
- der Resonanzfall und mögliche Auswirkungen,
- die Nutzung der Resonanz oder ihre Verhinderung.

Es ist zu empfehlen, daß dem Schüler zunächst vom Lehrer einige Beispiele erläutert werden. Entsprechend dem differenzierten Leistungsvermögen der Schüler wird die Erläuterung von einzelnen Schülern nachvollzogen, auf ähnliche Beispiele ausgedehnt, oder es werden völlig neue Beispiele aufgegriffen. Auch Schüleraufträge können vergeben werden.

Als Informationsquellen stehen dafür zur Verfügung:

- Das Lehrbuch. Es enthält eine Anzahl von Beispielen für die Verhinderung und für die Nutzung der Resonanz.
- Nachschlagewerke und Lexika. Diese können vor allem für leistungsstarke Schüler zum selbständigen Aufsuchen weiterer Beispiele dienen.
- Die Unterrichtssendung des Fernsehens zu den mechanischen Schwingungen. Sie enthält besonders anschauliche und einprägsame Beispiele für die Resonanz.

### Kurzkontrolle.

1. Zeichnen Sie das  $y-t$ -Diagramm einer gedämpften Schwingung mit beliebigen Amplituden und einer Frequenz von  $f = 2 \text{ Hz}$  (3 Hz)!
2. Beschreiben Sie die auftretenden Energieumwandlungen bei der Schwingung!

### 3. Interpretieren Sie die Gleichungen

$$a) T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}},$$

$$b) T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

## Stoffeinheit Mechanische Wellen

7 Stunden

### Ziele und inhaltliche Schwerpunkte

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen *das Wesen einer Welle, ihre Ausbreitung, die Reflexion, die Brechung sowie die Beugung und die Interferenz*. Für die nachfolgend zu behandelnden Hertzischen Wellen und für die Stoffeinheit „Wellenoptik“ werden damit grundlegende Voraussetzungen geschaffen, und es werden durch die mehrfachen Wiederholungen in verschiedenen Stoffeinheiten die Kenntnisse über das Wesen und die Eigenschaften einer Welle vertieft und gefestigt.

Die *Einführung in die Stoffeinheit Mechanische Wellen* sollte entsprechend dem empirischen Erkenntnisweg mit der experimentellen Demonstration und mit der Betrachtung von Abbildungen unterschiedlicher mechanischer Wellen beginnen. Vor allem an die Erfahrungen der Schüler mit Wasserwellen sollte angeknüpft werden, aber auch Seil- und Schallwellen sollten nicht fehlen.

Ausgehend von der kinematischen Betrachtungsweise wird empfohlen, zunächst die Ausbreitung einer einmaligen Erregung auf einer Wasseroberfläche zu beobachten, dann die Ausbreitung einer periodischen Erregung.

An gekoppelten Pendeln können die Kopplungskräfte als eine Voraussetzung für mechanische Wellen herausgestellt werden. Die Definition einer mechanischen Welle als Ausbreitung einer mechanischen Schwingung im Raum, bei der Energie übertragen, jedoch kein Stoff transportiert wird, läßt sich problemlos auf elektromagnetische Wellen übertragen.

Zur Beschreibung der mechanischen Wellen werden zusätzlich zu den physikalischen Größen Amplitude  $y_{\max}$  und Frequenz  $f$  die physikalischen Größen Wellenlänge  $\lambda$  und Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  eingeführt.

Am Augenblicksbild einer mechanischen Welle wird die Aufmerksamkeit der Schüler auf die räumliche Periodizität von Wellenbergen und Wellentälern gelenkt, es wird das  $y$ - $s$ -Diagramm eingeführt.

Durch Übertragung des Geschwindigkeit-Zeit-Gesetzes der gleichförmigen Bewegung auf die Bewegung einer mechanischen Welle wird die Gleichung für die Ausbreitung einer Welle  $v = \lambda \cdot f$  gewonnen. Es handelt sich dabei um einen Erkenntnisweg, der von gesicherten theoretischen Aussagen ausgehend zu experimentell prüfbareren Folgerungen gelangt. Die Schüler sind zur Herleitung der Gleichung zu befähigen.

Bei der Behandlung der Ausbreitungseigenschaften mechanischer Wellen ist der empirische Weg der Erkenntnisgewinnung am zweckmäßigsten. Eine Erklärung mit Hilfe des Huygens-Fresnelschen Prinzips wird nicht vorgenommen.

Aufbauend auf den Erfahrungen und Vorkenntnissen der Schüler werden nach experimentellen Demonstrationen die Begriffe Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz erarbeitet. Im Hinblick auf die analogen Experimente mit Hertzischen Wellen und mit Licht kommt

der Demonstration der Beugung am Doppelspalt und dem dabei entstehenden Interferenzbild besondere Bedeutung zu. Da in diesen Fällen jedoch nicht das Wellenfeld, sondern die Auftreffstellen auf einem senkrecht dazu liegenden Schirm betrachtet werden, sollten bereits bei den mechanischen Wellen erste Betrachtungen auf einem solchen Schirm vorgenommen werden.

Die Darstellung von einigen wichtigen, in der Praxis bedeutsamen Anwendungen sollte sich auf Beispiele für die Reflexion und Brechung von Schall und Ultraschall beschränken. Mit dem Wasserwellen-, Strömungs- und Projektionsgerät WSP 220 können die Ausbreitungseigenschaften mechanischer Wellen, aber auch die physikalischen Größen Wellenlänge, Ausbreitungsgeschwindigkeit und der Begriff Wellenfront anschaulich eingeführt werden. Ergänzend sollten Wasserwellen in einer möglichst großen pneumatischen Wanne (besser: Wellenkanal), Seilwellen sowie die Ausbreitung einer Welle in einer Pendelkette demonstriert werden.

An vielen Stellen ist das Lehrbuch beim Aneignungsprozeß, besonders aber beim Festigen des Wissens und Könnens gut einsetzbar. Gerade bei den Anwendungen mechanischer Wellen sollten die Schüler zum Gebrauch von Nachschlagewerken angeregt werden.

Die Schulfernsehsendung „Mechanische Wellen“ kann bei der Erarbeitung, der Anwendung und Festigung eingesetzt werden.

Die Schüler sollen folgendes grundlegendes *Wissen und Können* erwerben:

- Definition einer mechanischen Welle;
- Beschreibung des Augenblicksbildes und der Ausbreitung einer mechanischen Welle,  $y$ - $s$ -Diagramm;
- Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit:  $v = \lambda \cdot f$ ;
- Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz von Wellen;
- Technische Anwendung der Reflexion und Brechung des Schalls und des Ultraschalls

### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierendes Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<p><i>Beschreibung mechanischer Wellen und Voraussetzungen für ihr Entstehen</i>  Voraussetzungen für das Entstehen mechanischer Wellen  Schwingungs- und Energieübertragung durch Wellen  Beschreibung einer Welle, <math>y</math>-<math>s</math>-Diagramm  Ausbreitungsgeschwindigkeit</p> <p style="text-align: right;">3 Std.</p>	<p>Energie (Ph 7, 8, 9)  Geschwindigkeit (Ph 6, 9)  <math>v = \frac{s}{t}</math> (Ph 9)  <math>y</math>-<math>t</math>-Diagramm der Schwingung</p>	<p>Wasserwellen-, Strömungs- und Projektionsgerät WSP 220  Wellenkanal (S)  DE: Wasser-, Seil- und Schallwellen  DE: Gekoppelte Pendel und Pendelkette  DE: Stoßwelle auf der Luftkissenbahn  SV: Echolot</p>

<b>Ausbreitungseigenschaften mechanischer Wellen</b> Geradlinige Ausbreitung, Wellenfront Reflexion und Brechung Beugung am Spalt Interferenz von Wellen Technische Anwendungen der Reflexion und Brechung  2 Std.	Reflexion und Brechung von Licht (Ph 6)	Wasserwellen-, Strömungs- und Projektionsgerät WSP 220 Wellenkanal (S) DE: Reflexion und Brechung von Wasserwellen DE: Reflexion und Beugung von Schallwellen DE: Beugung von Wasserwellen am Spalt DE: Interferenz zweier kreisförmiger Wasserwellen USF: Mechanische Wellen
<b>Festigung und Kontrolle</b> 2 Std.		

### *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*

#### **Beschreibung mechanischer Wellen und Voraussetzungen für ihr Entstehen**

3 Stunden

#### **Ziele**

##### **Die Schüler**

- wissen, daß eine mechanische Welle die Ausbreitung einer mechanischen Schwingung im Raum ist und daß mechanische Wellen Energie übertragen, ohne Stoff zu transportieren;
- kennen die Voraussetzungen für das Entstehen mechanischer Wellen;
- kennen die physikalischen Größen ( $y$ ,  $y_{\max}$ ,  $f$ ,  $\lambda$ ,  $v$ ) zur Beschreibung einer Welle und können das Augenblicksbild sowie die Ausbreitung einer Wasserwelle beschreiben;
- wissen, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit mechanischer Wellen vom Stoff, in dem sie sich ausbreiten, abhängt, und können die Gleichung  $v = \lambda \cdot f$  herleiten, interpretieren und anwenden.

#### **Unterrichtsmittel**

Wasserwellengerät WSP 220

Wellenkanal (S)

Seil

Wellengerät nach Julius

Pendelkette

Luftkissenbahn

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

**Erarbeitung des Wellenbegriffs.** Zur Motivierung der Behandlung der mechanischen Wellen können die Schüler die Beispiele im Lehrbuch, S. 32, lesen. Die anschließende Diskussion kann zu folgendem Problem geführt werden, das später gelöst wird: Warum kann eine Welle (die z. B. durch eine Explosion erzeugt wurde) in relativ großer Entfernung gewaltige Störun-

gen verursachen? Die Schüler können aufgefordert werden, weitere Beispiele für Wellen zu nennen (Wasser-, Seil- und Schallwellen).

Es wird empfohlen, die Behandlung der mechanischen Wellen mit der Demonstration von Wasserwellen zu beginnen. Die Wellen werden erst einmalig und dann periodisch erregt. Die Schüler werden darauf aufmerksam gemacht, daß sich die Erregung ausbreitet.

Bei einmaliger Erregung können die Schüler besonders gut die Ausbreitung eines Wellenberges mit konstanter Geschwindigkeit beobachten. Bei periodischer Erregung sollte die Aufmerksamkeit der Schüler auf die Form der Welle, die „Wellenlinie“, gelenkt werden, die sich in Ausbreitungsrichtung verschiebt.

Zur Demonstration von Wasserwellen eignen sich das Wasserwellengerät WSP 220 oder noch besser eine möglichst große pneumatische Wanne (Wellenkanal). Letztere Anordnung bietet den großen Vorteil, daß eine Welle und ihre Ausbreitung in einem Längsschnitt gut beobachtet werden kann. (Ein Wellenkanal kann im Selbstbau aus passend zurechtgeschnittenen Glasscheiben entsprechend der Abbildung im Lehrbuch angefertigt werden. Als Klebstoff eignet sich Cenusil.) Besonders einfach ist die Verwendung eines möglichst langen Glasrohres von mindestens 5 cm Durchmesser (Kundtsches Rohr, ausgewaschenes Rohr einer Leuchtstofflampe), das zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist (Bild 6).

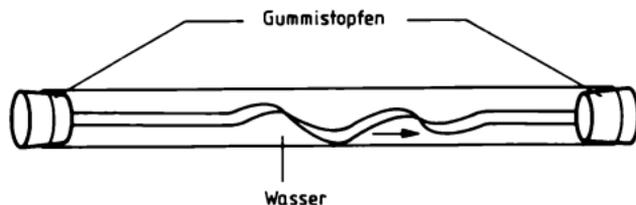


Bild 6 Experimentieranordnung

Zur Klärung der Voraussetzungen für das Entstehen einer Welle (schwingungsfähige Teilchen und Kopplungskräfte zwischen diesen) eignet sich die Demonstration einer Stoßwelle bei magnetisch gekoppelten Schwebekörpern auf der Luftkissenbahn sowie mit der Pendelkette oder das Wellengerät nach Julius. Beim Aufbau einer Pendelkette ist auf die präzise Einstellung der gleichen Pendellänge bei allen Pendeln zu achten, die sich durch den Gleichlauf der Schwingungen bei etwa 5 Perioden gut überprüfen läßt. Die Kopplung kann durch ein dünnes Gummiband im oberen Teil der Pendel erfolgen. Anschließend können die Schüler auf Kopplungskräfte zwischen Wasser-, Seil- und Luftteilchen aufmerksam gemacht werden. (Hinweis: Damit sich die Wellen, wie es die Schüler gewöhnt sind, horizontal ausbreiten, sollte das Wellengerät nach Julius in horizontaler Lage betrieben werden. Damit die Anordnung in der Mitte nicht durchhängt, kann über sie ein fester Faden straff gespannt werden, auf den Gardinenklammern aufgefädelt sind. Jede Klammer hält einen Pendelstab (Bild 7). Durch unterschiedlich straffes Spannen der Fäden zwischen den Pendelstäben kann die Kopplung und damit die Ausbreitungsgeschwindigkeit verändert werden.

Mit diesen Experimentieranordnungen können die Merkmale einer mechanischen Welle – Ausbreitung einer Schwingung und Transport von Energie – gut demonstriert werden. Die Schüler können anhand der Experimente die beobachtbaren Vorgänge beschreiben. Weitere Möglichkeiten zur Demonstration des Energietransports bieten Wasser-, Seil- oder auch Schallwellen (Resonanzanregung einer Stimmgabel, Fadentelefon). Zur geistigen Durchdringung der Experimente wird empfohlen, das Lehrbuch in Kombination mit den Demonstrationen einzusetzen.

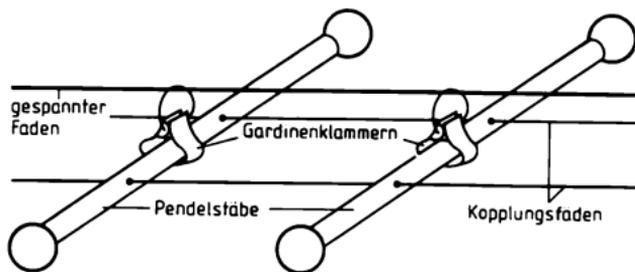


Bild 7 Experimentieranordnung

**Beschreibung einer mechanischen Welle,  $y$ - $s$ -Diagramm.** Es wird empfohlen, mit der Demonstration einer Wasser- oder Seilwelle die Begriffe Wellenberg und Wellental einzuführen und durch Demonstration von zwei Wellen mit unterschiedlicher Amplitude oder Frequenz die Notwendigkeit zur Einführung weiterer Größen zur Beschreibung einer Welle zu begründen (Bild 8). Bei der Erarbeitung dieser Größen ist es günstig, das Lehrbuch einzusetzen und die Schüler ihre Kenntnisse bei weiteren Experimenten mit Wasser- und Seilwellen sowie der Pendelkette anwenden zu lassen.

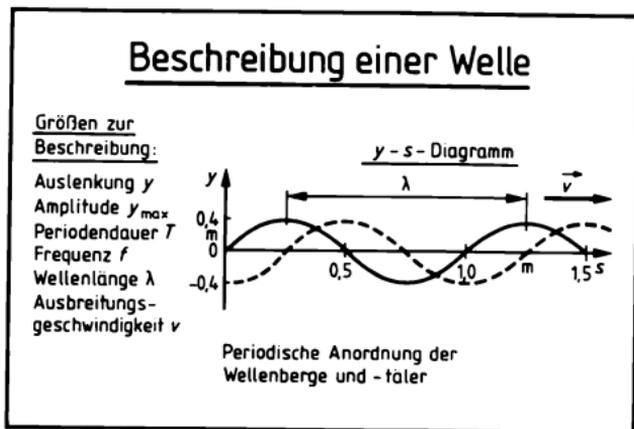


Bild 8 Tafelbild zur Beschreibung einer Welle

Das  $y$ - $s$ -Diagramm kann mit dem Lehrbuch eingeführt werden. Es bietet sich ferner an, mit einem am Fußboden liegenden Seil eine Seilwelle zu demonstrieren. Stoppt man die Erregung, so hat man ein Augenblicksbild dieser Welle und kann deutlich die periodische (sinusförmige) Anordnung der Wellenberge und Wellentäler erkennen. Der Übergang zum  $y$ - $s$ -Diagramm kann durch Einführen eines Koordinatensystems erfolgen. Es wird empfohlen, von den Schülern anhand der Aufgabe Nr. 2 im Lehrbuch (S. 35) die Amplitude und die Wellenlänge einer Welle aus einem  $y$ - $s$ -Diagramm bestimmen und bei gegebener Amplitude und Wellenlänge ein  $y$ - $s$ -Diagramm zeichnen zu lassen.

**Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle.** Eine geeignete Problemstellung ist folgende: Ein Taucher und ein Angler befinden sich 1000 m von einem Schiff ent-

fernt. Bei Arbeiten auf dem Schiff wird mit einem Hammer gegen die Schiffswand geschlagen. Wer hört den Schlag gegen die Schiffswand zuerst? (Hinweis auf die praktische Bedeutung der Schallgeschwindigkeit im Wasser für die Ortung von U-Booten und Fischschwärmen!)

Die Abhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle von der Stärke der Kopplung zwischen den Teilchen und damit vom Stoff kann mit der Pendelkette oder dem Wellengerät nach Julius demonstriert werden.

Durch dieses Modellexperiment können die Schüler zu folgender Schlußfolgerung angeregt werden:

- Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer mechanischen Welle hängt von der Stärke der Kopplung zwischen den Teilchen ab.
- In unterschiedlichen Stoffen wirken unterschiedliche Kopplungskräfte zwischen den Teilchen.
- Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer mechanischen Welle hängt vom Stoff ab, in dem sie sich ausbreitet.

Die Messung der Schallgeschwindigkeit in Luft ist in einem Hausexperiment für 2 bis 3 Schüler möglich. Für das Gelingen des Experiments nach Lehrbuch, S.36, sind etwa 400 m Sicht und ein geringer Lärmpegel erforderlich. An Experimentiergeräten werden eine Stoppuhr sowie eine Starterklappe benötigt.

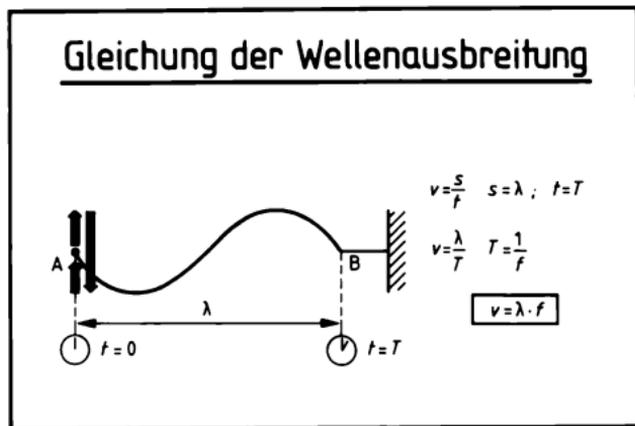


Bild 9 Tafelbild zur Gleichung der Wellenausbreitung

Der Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge kann mit einer periodisch erregten Seil- oder Wasserwelle demonstriert werden. Auch das Wellengerät nach Julius eignet sich dafür. Die Herleitung der Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle  $v = \lambda \cdot f$  geht von der Beobachtung aus, daß sich eine mechanische Welle mit konstanter Geschwindigkeit ausbreitet. Das Erarbeiten können die Schüler mit dem Lehrbuch vornehmen. Zur weiteren Verdeutlichung und Verinnerlichung dieser Gleichung interpretieren sie die Gleichung und wenden diese beim Rechnen von Aufgaben an.

Die Schüler lernen eine Auswahl wesentlicher Welleneigenschaften bei der Ausbreitung von mechanischen Wellen kennen. Die Ausbreitungseigenschaften von mechanischen Wellen können von den Schülern direkt wahrgenommen und erkannt werden. Damit werden auch Voraussetzungen für das Verständnis der elektromagnetischen Wellen und des Lichtes erbracht.

**Ziele**

Die Schüler

- können die Reflexion und Brechung mechanischer Wellen beschreiben und Beispiele für die Reflexion von Schall und Ultraschall erläutern;
- können die Beugung mechanischer Wellen an einem Spalt erläutern;
- können die Überlagerung zweier mechanischer Wellen im  $y$ - $s$ -Diagramm beschreiben und zeichnen sowie das Interferenzbild bei der Überlagerung zweier Kreiswellen zeichnen und erläutern.

**Unterrichtsmittel**

Wasserwellen-, Strömungs- und Projektionsgerät WSP 220

Wellenkanal (S)

Universalgenerator UVG 2

2 Lautsprecher

2 Folien: Systeme konzentrischer Kreise

**Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung**

**Geradlinige Ausbreitung mechanischer Wellen.** Zunächst werden Wellen mit geradlinigen Wellenfronten betrachtet. Möglich ist folgendes Vorgehen: Den Schülern wird gesagt, daß man die Ausbreitung mechanischer Wellen am besten an Wasserwellen studieren kann. Die Abbildung der Wellenberge und -täler sowie der Einfluß der stroboskopischen Beleuchtung beim WSP 220 werden erläutert. Anhand eines Experimentes wird der Begriff Wellenfront eingeführt und auf die geradlinige Ausbreitung der Welle in einem einheitlichen Stoff hingewiesen.

**Reflexion und Brechung mechanischer Wellen.** Bei der Behandlung von Reflexion und Brechung kann mit dem Lesen der jeweiligen Abschnitte im Lehrbuch begonnen werden. Auf diese Weise gelingt es den Schülern gut, das Wesentliche aus der Projektion des WSP 220 zu erkennen. Das Bild sollte dabei an die Tafel projiziert werden, damit das Hindernis bzw. die Grenzschicht und vor allem die Ausbreitungsrichtungen der Welle an die Tafel gezeichnet werden können. (DE nach PSE Wellenlehre; Reflexion von Oberflächenwellen, Brechung von Oberflächenwellen)

Zur weiteren Vertiefung sollte das Experiment Reflexion des Schalles durch einen ebenen Spiegel aus PSE Wellenlehre durchgeführt und von den Schülern beschrieben und erläutert werden. Bei technischen Anwendungen sollte auf das Echolot und das Ortungs- und Orientierungsvermögen der Fledermäuse mittels Ultraschall eingegangen werden; es bietet sich an, die Aufgabe 1 im Lehrbuch, S. 39, zu lösen. Von leistungsstarken Schülern kann man folgende Frage beantworten lassen: Warum muß man beim akustischen Orten von U-Booten die Temperatur der verschiedenen Wasserschichten beachten? (→ Tafelwerk S. 39)

**Beugung einer mechanischen Welle an einem Spalt.** Bei der Beugung und Interferenz handelt es sich im Gegensatz zu Reflexion und Brechung für den Schüler um qualitativ neue Welleneigenschaften, die bei mechanischen Wellen gut zu beobachten und zu verstehen sind.

Die Beugung kann, von bekannten Erscheinungen ausgehend, mit Hilfe einer Schallwelle (LBA 39/2) eingeführt werden. Dabei muß der Widerspruch zu den bisher bekannten Gesetzen (geradlinige Ausbreitung von Wellen) verdeutlicht werden. Danach sollte die Klärung in einem Experiment mit Wasserwellen erfolgen. Als Begründung für das Auftreten der Beugung kann man die Kopplung der Teilchen und das daraus folgende Mitschwingen benachbarter Teilchen (auch solcher, die nicht in Ausbreitungsrichtung liegen) angeben.

**Interferenz von mechanischen Wellen.** Als Problemstellung für die Interferenz von Wellen eignet sich folgendes Experiment: Zwei Lautsprecher stehen nahe beieinander mit den Austrittsöffnungen einander zugewandt. Sie werden mit einem Universalgenerator, der auf eine Frequenz von etwa 1 kHz eingestellt ist, verbunden. Sie sollen beide die gleiche Schallleistung abstrahlen (evtl. Spannungsteiler einsetzen!). Bei einem Lautsprecher ist die Polung vertauscht. Das Zuschalten des zweiten Lautsprechers führt (zumindest örtlich) zu einer Verringerung der Gesamtlautstärke.

Bei einer anderen Variante des Experiments sind beide Lautsprecher etwa in 1 m Abstand voneinander um eine vertikale Achse schwenkbar angeordnet und auf die Schüler gerichtet. Beim Schwenken dieser Anordnung können die Schüler abwechselnd eine Verstärkung und eine Abschwächung der Lautstärke des Tons hören. Dieser Effekt ist auch erlebbar, wenn eine schwingende Stimmgabel (2 Erreger) axial am Ohr gedreht wird, wobei die Stimmgabelachse senkrecht zur Verbindungslinie Ohr – Stimmgabel stehen muß.

Nachdem die Schüler durch diese Problemstellung motiviert wurden, die Ursache für diese interessante Erscheinung zu ergründen, sollten mit Experimenten als „Fragen an die Natur“ die Interferenzerscheinungen demonstriert werden. Es wird empfohlen, zunächst die Interferenz mit Wellen mit geradlinigen Wellenfronten einzuführen und erst danach die Interferenz bei zwei Kreiswellen zu behandeln.

Anhand der Bilder 40/1 und 40/2 im Lehrbuch kann man die Interferenz zweier Wellen gut erläutern. Anschließend können die Schüler mit Unterstützung durch den Lehrer für die Fälle Verstärkung und Auslöschung das jeweilige  $y$ - $s$ -Diagramm der beiden Wellen beschreiben und zeichnen. Auf die Bedingung für das Auftreten der Interferenz, daß beide sich überlagernde Wellen die gleiche Wellenlänge besitzen müssen, sollte hingewiesen werden. Die Auslöschung ist als besonderer Fall der Abschwächung, wenn die beiden Wellen gleiche Amplituden besitzen, herauszustellen. Die Interferenz zweier Kreiswellen kann mit dem WSP 220 demonstriert werden (PSE Wellenlehre, Überlagerung von Kreiswellen – Huygens-Fresnelsches-Prinzip). Für die Beschreibung und Erläuterung des Interferenzbildes eignet sich das Projektionsbild des Systems zweier Kreiswellen (Folien) besonders gut. Das Interferenzbild zweier Kreiswellen kann nach entsprechender Anleitung gezeichnet werden.

Bei der Erläuterung des Doppelspaltexperiments (PSE Wellenlehre, Beugung von Oberflächenwellen) können die Schüler ihre bisher erworbenen Kenntnisse anwenden. Bei der Erläuterung des Interferenzbildes sollten die Schüler erst auf die durch Beugung und dann auf die durch Interferenz hervorgerufenen Erscheinungen hingewiesen werden. Damit die Schüler die Interferenz elektromagnetischer Wellen leichter verstehen können, sollte auch das Auftreffen der Wellen auf einen „Schirm“ diskutiert werden (LBA 42/1).

**Technische Anwendung der Reflexion von Schall.** Bei der Behandlung der technischen Anwendungen der Brechung und Reflexion kommt es vor allem auf das Erkennen des zugrunde liegenden physikalischen Prinzips an und nicht auf Einzelheiten der technischen Realisierung. Dabei sollte an die Erfahrungen der Schüler mit Echos von Schallwellen angeknüpft werden.

Es ist gut möglich, die technischen Anwendungen von Schall und Ultraschall in einer Konkretisierungsreihe zu gestalten. Den Ausgang bildet das Reflexionsgesetz. Es erfolgt das Hinführen zur mathematisch durchdrungenen Idealisierung in Form der zeichnerischen Darstellung der Ausbreitungsrichtung einer mechanischen Welle mit geradlinigen Wellenfronten bei der Reflexion. Am Ende dieser Konkretisierungsreihe steht die theoretisch durchdrungene Wirklichkeit, zum Beispiel in Form des Echolots.

**Technische Anwendung der Brechung von Schall.** Die Behandlung der technischen Anwendung der Brechung des Schalls und des Ultraschalls ist schwieriger, weil die Brechung bei technischen Anwendungen selten „rein“, sondern meist zusammen mit Reflexion auftritt. Ein Beispiel dafür sind Echolotungen im Meer, wenn Wasserschichten mit unterschiedlichem Salzgehalt vorhanden sind. Außerdem fehlen den Schülern Erfahrungen aufgrund eigener Beobachtungen von Brechungsvorgängen bei Schall- und Ultraschall. Es ist daher notwendig, daß der Lehrer ein gutes Anwendungsbeispiel für die Brechung von Schallwellen erläutert. Besonders geeignet erscheint dafür die Bündelung von Ultraschallwellen mittels Kunststofflinsen zur Bearbeitung von Werkstoffen (z. B. beschrieben in Meyers Neues Lexikon Bd. 12, Leipzig (1975) S. 148). Der Schüler sollte bei diesem Beispiel erkennen, daß die Bündelung der Ultraschallwellen durch Brechung an der Linse bei den Übergängen Luft-Kunststoff und Kunststoff-Luft zustande kommt.

### **Festigung und Kontrolle**

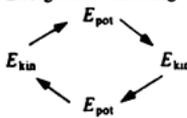
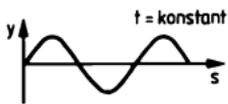
2 Stunden

Als Hausaufgabe können sich die Schüler die Zusammenfassungen, die im Lehrbuch nach den Abschnitten „Mechanische Schwingungen“ und „Mechanische Wellen“ angeführt sind, durchlesen und einprägen. In der Unterrichtsstunde können diese Systematisierungen nochmals erläutert und anschließend einzelne Sachverhalte (evtl. schriftlich) abgefragt werden.

Günstiger ist jedoch, wenn die Schüler lernen, ihr Wissen über mechanische Schwingungen und mechanische Wellen selbst zu systematisieren. Systematisieren ist eine anspruchsvolle geistige Tätigkeit, und ein aktives Mitwirken der Schüler bei der Erarbeitung der Systematisierung einer Stoffeinheit besitzt damit einen großen Bildungswert. Die Systematisierungsgesichtspunkte der nachstehenden Übersicht können auf einer Folie oder der Tafel vorgegeben werden. Die Leerfelder werden entweder gemeinsam oder nach entsprechender Vorarbeit durch einzelne Schüler oder kleine Gruppen ausgefüllt.

## Übersicht:

Vorschlag einer Systematisierung der mechanischen Schwingungen und mechanischen Wellen

	Schwingung	Welle
Definition	Eine mechanische Schwingung ist eine zeitlich periodische Bewegung eines Körpers um seine Gleichgewichtslage.	Eine mechanische Welle ist die Ausbreitung einer mechanischen Schwingung im Raum.
Voraussetzungen	Eine zur Gleichgewichtslage gerichtete Kraft, Trägheit des Körpers	Schwingungsfähige Teilchen, Kopplungskräfte zwischen den Teilchen
Energie	Energieumwandlung 	Energietransport ohne Stofftransport
Formelzeichen der physikalischen Größen zur Beschreibung	$y; y_{\max}; T; f$	$y; y_{\max}; T; f; \lambda; v$
Gleichungen	$f = \frac{1}{T}, T = \frac{t}{n}$ $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}, T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$	$f = \frac{1}{T}, v = \lambda \cdot f$
Beispiele	Federschwinger Fadenpendel	Wasserwelle Schallwelle
y-s-Diagramm (Augenblicksbild)		
y-t-Diagramm (Schwingung eines Teilchens)		

**Schriftliche Leistungskontrolle.** Die Leistungskontrolle kann aus folgenden Aufgaben sowie aus Aufgaben des LB zusammengestellt werden:

### I Gravitation

- Nennen und interpretieren Sie das Gravitationsgesetz!
- Wie muß sich der Abstand zweier Massepunkte verändern, damit sich die Gravitationskraft
  - auf  $\frac{1}{16}$  vermindert,
  - auf das 100fache erhöht?

3. Berechnen Sie die Gravitationskräfte zwischen der Erde und der Raumstation Mir, wenn angenommen wird, daß die voll ausgebaute Station die Masse  $m_{\text{Mir}} = 10^5 \text{ kg}$  hat und sich in einer Kreisbahn mit dem Radius von 6670 km vom Mittelpunkt der Erde entfernt bewegt!
4. Erläutern Sie, wie man die Masse der Erde mit Hilfe des Gravitationsgesetzes berechnen kann, und leiten Sie die Gleichung zur Berechnung der Erdmasse her!

## II Mechanische Schwingungen

5. a) Zeichnen Sie das  $y$ - $t$ -Diagramm einer ungedämpften und einer gedämpften Schwingung, deren Periodendauer 4 s und deren erste Amplitude 3 cm beträgt!  
b) Erklären Sie, wie eine gedämpfte Schwingung entsteht!
6. Interpretieren Sie die Gleichung für die
  - a) Periodendauer eines Federschwingers,
  - b) Periodendauer eines Fadenpendels und
  - c) Ausbreitungsgeschwindigkeit einer mechanischen Welle!
7. An einer Schraubenfeder  $\left(k = 100 \frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$  hängt ein Körper mit einer Masse von 1 kg.
  - a) Berechnen Sie die Periodendauer dieses Federschwingers!
  - b) Mit welcher Frequenz muß man den Federschwinger erregen, um Resonanz zu erreichen? (Es ist die Bedingung anzugeben, und die Antwort ist zu begründen!)
  - c) Nennen Sie je ein Beispiel für eine Eigenschwingung und eine erzwungene Schwingung!

## III Mechanische Wellen

8. Erläutern Sie die Definition einer
  - a) mechanischen Schwingung an einem Beispiel,
  - b) mechanischen Welle an einem Beispiel!
9. Welche physikalische Erscheinung tritt bei Interferenz von Kreiswellen an den Orten auf, an denen
  - a) zwei Wellenberge,
  - b) zwei Wellentäler und
  - c) ein Wellenberg und ein Wellental zusammentreffen?
10. Die Hörgrenze des Menschen liegt bei 20 kHz. Wie groß ist bei dieser Frequenz die Wellenlänge in Luft ( $\vartheta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ )?
11. Beschreiben Sie die Vorgänge der Schwingungs- und Energieübertragung bei zwei/mehreren gekoppelten Pendeln!
12. Nennen Sie die wichtigsten Eigenschaften mechanischer Wellen, und erläutern Sie ein Beispiel für die Nutzung einer Eigenschaft!
13. a) Bestimmen Sie die Amplitude und die Wellenlänge einer Welle aus einem (vorgegebenen)  $y$ - $s$ -Diagramm!  
b) Berechnen Sie die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Welle, wenn die Frequenz  $f = 12 \text{ Hz}$  beträgt!
14. Wie weit ist ein Gewitter entfernt, wenn die Zeit zwischen Wahrnehmung des Blitzes und des Donners 9 Sekunden beträgt?

**Stoffeinheit Wechselstrom**

12 Stunden

*Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen die *Vorgänge in Wechselstromkreisen mit ohmschen, induktiven und kapazitiven Bauelementen*. Die Schüler sollen dabei ihr in Klasse 9 erworbenes Wissen über den Wechselstrom reaktivieren und durch energetische und Feldbetrachtungen erweitern. Wissen und Können über elektrische Vorgänge in Gleichstromkreisen wird auf den Wechselstromkreis übertragen, physikalische Größen zur Beschreibung der Bauelementeigenschaften von Spulen und Kondensatoren werden eingeführt und durch gegebene Gleichungen zum Wechselstromwiderstand in Beziehung gesetzt. Der Schwerpunkt bei der Arbeit mit den Gleichungen liegt beim Interpretieren und Folgern von Abhängigkeiten in Form von Proportionalitäten, sie werden aber auch zur Berechnung von Kapazitäten und Induktivitäten angewendet.

Als *elektrische Schwingung* wird der Wechselstrom nur dann betrachtet, wenn der zeitliche Verlauf von Spannung und Stromstärke bedeutsam ist. Die physikalischen Größen zur Beschreibung mechanischer Schwingungen werden auf den Wechselstrom angewendet und beim Interpretieren von Oszillographenbildern genutzt.

In Abstimmung mit dem Fach ESP sollen die Schüler an Beispielen erleben, daß Kenntnisse über das Verhalten von Bauelementen im Wechselstromkreis für die rationelle Energienutzung bedeutsam sind. Dabei wird auf sinusförmige Wechselströme orientiert. Graphische Darstellungen werden meist aus der Beobachtung von Oszillographenbildern entwickelt, Veränderungen werden direkt auf dem Bildschirm betrachtet und interpretiert. Das Wissen über die Effektivwerte wird wiederholt und angewendet.

Durch Vergleiche des Wirkens von Bauelementen im Gleich- und Wechselstromkreis erkennen die Schüler in dieser Stoffeinheit das qualitativ andere Verhalten von Spulen und Kondensatoren im Wechselstromkreis. Zur Erfassung des Bauelementeverhaltens wird der *elektrische Widerstand bei Gleich- und Wechselstrom* genutzt. Es wird gezeigt, daß sich ohmsche Bauelemente im Wechselstromkreis ebenso wie im Gleichstromkreis auswirken und daß Spannung und Stromstärke im zeitlichen Gleichlauf sind. Durch Hinweise auf die *zeitliche Verschiebung zwischen Spannung und Stromstärke* bei Spulen und Kondensatoren wird das Wissen über die Eigenschaften dieser Bauelemente nochmals erweitert. Bei Experimenten wird ein Verändern von Induktivität und Kapazität meist durch eine Auswechslung des Bauelementes oder eine Veränderung am Bauelement bzw. eine Zusammenschaltung mehrerer Bauelemente erreicht, die Abhängigkeit dieser Größen vom Bau der Spule bzw. des Kondensators

sators wird aber nicht behandelt, sondern es wird nur auf die wichtigsten Einflußgrößen (Windungsanzahl, Kernart bzw. Plattenfläche, Isolator, Plattenabstand) hingewiesen. Die in den Gleichungen für den induktiven und kapazitiven Widerstand enthaltenen Abhängigkeiten von Induktivität bzw. Kapazität und Frequenz werden experimentell nachgewiesen. Dabei wird der Zusammenhang zwischen Stromstärke und Widerstand bei konstanter Spannung genutzt, Widerstände werden vorwiegend aus  $U$ - $I$ -Meßwertepaaren berechnet. Die Unterschiede der Widerstände der Bauelemente im Gleich- und Wechselstromkreis werden mit dem zeitlichen Verlauf des Wechselstromes begründet, dabei werden jeweils auch *energetische Überlegungen und Feldbetrachtungen* vorgenommen. Die Hinweise auf die zeitliche Verschiebung zwischen Spannung und Stromstärke werden genutzt, um bei Spulen und Kondensatoren durch Angabe von  $\cos \varphi$  den Zusammenhang mit der Energiebilanz aufzuzeigen. Das Hin- und Herschwingen der Energie zwischen Spannungsquelle und Feld wird bei der Behandlung der *Wirkleistung* erneut aufgegriffen und als wesentliches Kriterium für das Erfassen der energetischen Vorgänge im Wechselstromkreis behandelt. Auf die physikalische Bedeutung von  $\cos \varphi$  wird hingewiesen. Die *rationelle Übertragung elektrischer Energie* durch Wechselströme wird in enger Verbindung zum Fach ESP erläutert, auf die Möglichkeit zur Entlastung der Leitungen durch Hinzuschalten von Kondensatoren wird hingewiesen. Die Energiebetrachtungen können genutzt werden, um den Begriff der elektromagnetischen Schwingung vorzubereiten. Durch ein Schülerexperiment werden die neuen Kenntnisse über die Induktivität und den induktiven Widerstand zur experimentellen Bestimmung dieser Größe angewendet.

Bei den Experimenten sind exemplarisch Überlegungen über die jeweils konstant zu haltenden Größen anzustellen, die *Fehlerbetrachtungen* werden in der Form fortgeführt, daß vor allem die Auswirkung von Meßfehlern auf die Zuverlässigkeit des Experimentierergebnisses eingeschätzt wird.

Beim *Lösen von Aufgaben* ist ein ausgewogenes Verhältnis von Aufforderungen zum Erklären, funktionalen Betrachtungen und Aufgaben technischen Inhaltes anzustreben. Besonderes Augenmerk ist auf die richtige Verwendung und Berechnung von Einheiten zu legen.

Für die Erziehung der Schüler sind sowohl der Erkenntnisweg bei der Erarbeitung und Anwendung der Größen und Gesetze als auch Ergebnisse der *Anwendung* zu nutzen. So sind *Einsichten* der Schüler darüber zu vertiefen, daß mit Hilfe der *Mathematik* Erkenntnisse über elektrische Vorgänge in Form von Gleichungen exakt ausgedrückt werden können und diese physikalischen Gesetze Vorhersagen über den Verlauf von Vorgängen und ihre Veränderungen ermöglichen.

Für die *Erziehung* der Schüler ist weiterhin die Erkenntnis von Bedeutung, daß erst der Wechselstrom eine *umfassende Elektrifizierung* und damit das heutige Niveau von Technik und Produktion ermöglichte. Die vorhandenen Möglichkeiten zur Wiederholung von Wissen über den Arbeitsschutz und die Vermeidung von Gefahren und Schäden beim Umgang mit elektrischem Strom sind zu nutzen.

Im Sinne des Fortschreitens vom Bekannten zum Neuen und vom Einfachen zum Komplizierten sowie einer *systematischen Darstellung* orientiert der Lehrplan auf eine schrittweise Behandlung des Verhaltens von ohmschem Bauelement, Spule und Kondensator im Wechselstromkreis. Die aus dem Gleichstromkreis bekannten Eigenschaften und Vorgänge werden wiederholt, mit dem Wechselstromverhalten verglichen und zur Erklärung der Vorgänge im Wechselstromkreis angewendet. Dabei wird das Wissen über den Wechselstrom und die Eigenschaften der Bauelemente vertieft und erweitert. Bei den energetischen Betrachtungen wird stets auch der Zusammenhang zum zeitlichen Verlauf von Spannung und Stromstärke aufgezeigt.

Die Behandlung des Wechselstromwiderstandes einer Spule ist im Anschluß an das ohmsche Bauelement vorgesehen, weil die Betrachtung einer Spule als Draht, der um einen Eisenkern gewickelt ist, an das Wissen der Schüler (Ursachen des ohmschen Widerstandes, Selbstinduktion) anknüpft. Es ist jedoch auch möglich, nach dem ohmschen Bauelement erst

den Kondensator zu behandeln, weil das gänzlich andere Verhalten im Wechselstromkreis besonders deutlich ist.

Die Schüler sollen folgendes grundlegendes *Wissen und Können* erwerben:

- Eigenschaften des Wechselstromes, sein zeitlicher Verlauf und dessen Beschreibung durch physikalische Größen und Diagramme;
- Unterschiede des Bauelementeverhaltens in Gleich- und Wechselstromkreisen und deren Ursachen;
- Physikalische Bedeutung der Größen Induktivität und Kapazität;
- Induktiver und kapazitiver Widerstand;
- Interpretieren der Gleichung für den induktiven und kapazitiven Widerstand;
- Anwenden der Meßverfahren für Wechselspannung und -stromstärke.

### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierendes Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<p><i>Wechselstrom und Wechselstromkreis</i>                      Wechselstrom als elektrische Schwingung                      Frequenz des Wechselstromes                      Bauelemente im Wechselstromkreis                      Ohmscher Widerstand                      2 Std.</p>	<p>Dreiphasenwechselstrom (ESP 10)                      Mechanische Schwingung und graphische Darstellung (Ph 10)                      Wechselstrom, Effektivwerte (Ph 9)                      Bauelemente (Ph 8, 9)                      Elektrischer Widerstand (Ph 8)</p>	<p>DE: Oszillographenbilder von Wechselspannungen                      DE oder SE: Messung von Effektivwerten                      DE: Demonstrieren der Widerstandswirkung von Bauelementen bei Gleich- und Wechselstrom</p>
<p><i>Induktiver Widerstand und Induktivität</i>                      Physikalische Ursachen des elektrischen Widerstandes einer Spule                      Zeitlicher Verlauf und Energieumwandlung                      Induktivität und Gleichung zur Berechnung des induktiven Widerstandes                      Festigung und Anwendung                      Schülerexperiment                      4 Std.</p>	<p>Induktionsgesetz und Selbstinduktion (Ph 9)                      Reihenschaltung (Ph 8)                      Elektrische Meßgeräte, Blackbox-Experiment, Vorwiderstand (Ph 8, 9)</p>	<p>DE: Zeitlicher Verlauf von Spannung und Stromstärke bei ohmschen Bauelementen und Spulen                      DE: Zusammenhang zwischen <math>X_L</math> und <math>L</math> bzw. <math>f</math>                      DE: Einfluß des Eisenkerns auf <math>R</math> einer Spule                      DE: Bestimmen von <math>I</math> für eine Spule im Wechselstromkreis                      SE: Bestimmen der Induktivität                      DE: Drosselspule und ohmscher Vorwiderstand</p>
<p><i>Kapazitiver Widerstand und Kapazität</i>                      Physikalische Ursachen des kapazitiven Widerstandes                      Kondensator im Gleich- und Wechselstromkreis                      Kapazität und Gleichung zur Berechnung des kapazitiven Widerstandes</p>	<p>Elektrisches Feld, Plattenkondensator, Gleichrichterschaltung (Ph 9)                      Einheitenvorsätze (Ma 9)</p>	<p>DE: Kondensator im Gleich- und Wechselstromkreis                      DE: Zusammenhang zwischen <math>X_C</math> und <math>C</math> bzw. <math>f</math>                      SE: Bestimmen der Kapazität (auch als DE möglich)                      DE: Anwendung von Kondensatoren bei Gleichrichterschaltungen</p>

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierendes Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
Anwendung von Kondensatoren Zusammenfassender Überblick: Bauelemente im Wechselstromkreis 4 Std.		DE: Trennen von Gleich- und Wechselstrom DE: Zeitliche Verschiebung zwischen $U$ und $I$
Leistung im Wechselstromkreis Wirkleistung Leistungsfaktor Netzentlastung durch Kondensatoren 1 Std.	Elektrische Leistung (Ph 8) Transformator (Ph 9) Energiefernleitung (ESP 10)	DE: Wirkung von Transformatoren und Kondensatoren bei der rationellen Energieübertragung
Schriftliche Leistungskontrolle 1 Std.	Praktikum (Ph 9)	DE: Erkennen eines Bauelementes oder der Spannungsart

## Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten

### Wechselstrom und Wechselstromkreis

2 Stunden

Zu Beginn der Stoffeinheit erfolgt die Reaktivierung des Wissens und Könnens über den Wechselstrom aus Klasse 9 (Induktion) und die Anwendung von Kenntnissen aus der Stoffeinheit „Mechanische Schwingungen“ auf den Wechselstrom. Der Schwerpunkt soll dabei auf die durch den elektrischen Widerstand erfaßbare Wirkung von Bauelementen im Wechselstromkreis gelegt werden. Durch den Vergleich des Verhaltens der Bauelemente im Gleich- und Wechselstromkreis wird eine Erweiterung des Widerstandsbegriffes und die Motivierung für die Behandlung von Spule und Kondensator gewonnen.

#### Ziele

##### Die Schüler

- wissen, daß der Wechselstrom ein elektrischer Strom ist, bei dem sich Betrag und Richtung der Spannung und Stromstärke periodisch ändern;
- können Oszillographenbilder interpretieren und die physikalischen Größen Periodendauer, Frequenz und Amplitude auf den Wechselstrom anwenden;
- wissen, daß der elektrische Widerstand auch im Wechselstromkreis das Bauelementverhalten charakterisiert;
- kennen die Bauelemente, deren Verhalten im Wechselstromkreis untersucht werden soll.

#### Unterrichtsmittel

##### Lautsprecher

Demonstrationsoszillograph

Universalgenerator UVG 2

Elektronischer Schalter

Bauelemente (Widerstand, Spule, Kondensator, Glühlampe)

Polwendeschalter

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführende Experimente.** Zur Motivierung eignet sich ein kurzer Lehrervortrag mit Experimenten, der sich auf Kenntnisse aus dem ESP-Unterricht und dem Lehrbuch, S. 46, stützt. Die angesprochenen Beispiele sollen auf die Praxis orientieren; Angaben über die Frequenz der Wechselströme sind vorerst noch nicht aufzugreifen. Als Variante ist auch eine Motivierung durch Experimente möglich. So kann die Umwandlung von mechanischen Schwingungen in Wechselströme durch einen als Mikrofon verwendeten Lautsprecher mit dem Oszillographen demonstriert werden oder ein Federschwinger mit einem Dauermagneten in einer Induktionspule schwingen und der Wechselstrom an der Zeigerbewegung des Strommessers erkannt werden.

Da im folgenden Unterricht der zeitliche Verlauf von Wechselströmen meist mit dem Oszillographen demonstriert wird, sollte mindestens ein Experiment mit einem besonders niederfrequenten Wechselstrom, dessen zeitlicher Verlauf an der Zeigerbewegung des Strommessers erkannt werden kann, gezeigt werden. Geeignet ist ein durch periodisches Umpolen (Polwender) einer Gleichspannung gewonnener Wechselstrom; auch das Generator-Motor-Modell kann eingesetzt werden.

**Frequenz des Wechselstromes.** Ausgehend von diesen Experimenten kann die Frage nach gebräuchlichen Frequenzen des Wechselstromes gestellt werden. Der Überblick über die technisch genutzten Frequenzbereiche (LB, S. 47/48, Brockhaus ABC Physik) kann mit dem Hinweis auf die Erzeugung von Wechselstrom unterschiedlicher Frequenz verbunden werden.

Zur weiteren Behandlung des Wechselstromes wird auf die Untersuchung der Vorgänge in Stromkreisen orientiert, in denen sinusförmige Wechselströme fließen und diese Einengung erläutert. Ein Hinweis auf Beispiele nichtsinusförmiger Wechselströme kann erfolgen.

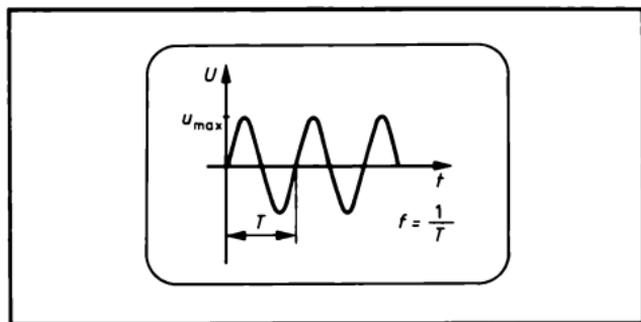


Bild 10 Tafelbild zur Frequenz des Wechselstroms

Aus einem Oszillographenbild wird zweckmäßig ein Tafelbild entwickelt (Bild 10). Durch den gezielten Vergleich von Oszillographenbildern wird herausgearbeitet, daß Wechselströme sich nicht nur in der Stärke unterscheiden. Die Anwendung der Größen Amplitude und Frequenz auf den Wechselstrom läßt nun im zusammenfassenden Unterrichtsgespräch auch einen Rückgriff auf die eingangs genannten Beispiele technischer Wechselströme zu.

**Wechselstromkreis.** Eine Wiederholung der Gesetze des Gleichstromkreises, verbunden mit der Reaktivierung des Wissens über Wechselstrommeßgeräte und Effektivwerte, kann zur Untersuchung des Wechselstromkreises überleiten. Durch ein Experiment wird gezeigt, daß auch im Wechselstromkreis der elektrische Widerstand  $R$  als Quotient  $\frac{U}{I}$  berechnet wird. Es kann auch als Meßübung (SE) mit einer Glühlampe gestaltet werden.

In der Auswertung können die Betriebsdaten der Glühlampe für Gleichstrom (z. B. 6 V; 0,3 A) als Effektivwerte für Wechselstrom interpretiert werden.

**Einführende Experimente zum ohmschen Bauelement, zur Spule und zum Kondensator im Wechselstromkreis.** Die Motivierung für eine Untersuchung des Bauelementeverhaltens im Wechselstromkreis kann wirkungsvoll dadurch erfolgen, daß durch Messungen an einer Reihenschaltung aus Spule und ohmschem Bauelement gezeigt wird, daß bei Wechselstrom die von den Schülern erwartete Gleichung  $U = U_1 + U_2$  nicht erfüllt ist.

Als Demonstrationsexperiment für eine vergleichende Untersuchung von ohmschem Bauelement, Spule und Kondensator bei Gleich- und Wechselstrom ist eine Reihenschaltung von Glühlampe und jeweiligem Bauelement (Tafelschaltgerät) zu empfehlen. Dabei ist die Helligkeit der Glühlampe zuerst ohne Vorwiderstand zu demonstrieren und danach jeweils mit vorgeschaltetem Bauelement die Helligkeitsabnahme als Ausdruck für die Widerstandswirkung des Bauelements zu deuten. Die Bauelemente sind dazu so auszuwählen, daß bei Wechselstrom mit jedem der Bauelemente eine deutliche Helligkeitsabnahme der Glühlampe beobachtet werden kann, ohne daß sie verlischt. Der Kondensator muß dazu eine Kapazität von etwa  $50 \mu\text{F}$  haben, wenn mit einer Glühlampe aus dem SEG gearbeitet wird.

**Erweiterung des Widerstandsbegriffes.** Ein weiteres Experiment soll zeigen, daß auch im Wechselstromkreis der als Quotient aus  $U$  und  $I$  definierte elektrische Widerstand angibt, wie stark der elektrische Strom durch ein Bauelement behindert wird und damit eine geeignete Größe zur Charakterisierung des Bauelementeverhaltens ist. Es ist zu klären, daß der Widerstandsbegriff im Wechselstromkreis ( $R_{\cdot}$ ) mit einem erweiterten Begriffsinhalt erfüllt werden muß, da nicht alle Bauelementeeigenschaften durch das Ohmsche Gesetz erklärt sind. Bei der Wiederholung der Zusammenhänge zwischen  $U$ ,  $I$  und  $R$  ist vor allem auf  $I \sim \frac{1}{R}$  bei  $U = \text{konstant}$  einzugehen, weil im folgenden Unterricht häufig aus der Stromstärkeänderung auf die Widerstandsänderung geschlossen werden muß.

**Ohmsche Bauelemente im Gleich- und Wechselstromkreis.** Die vergleichenden Experimente werden verallgemeinert, indem solche Bauelemente, die den Gleichstrom in gleicher Stärke wie den Wechselstrom behindern ( $R = R_{\cdot}$ ), unter dem Begriff „ohmsche Bauelemente“ genannt werden. Im folgenden Unterrichtsgespräch wird das gemeinsame Merkmal (Draht aus Widerstandsmetall oder Körper aus Widerstandsmaterial) gefunden, ohne eine explizite Definition zu formulieren. Eine Anwendungsaufgabe (z. B. LB, S. 49, Nr. 2) zur Berechnung des ohmschen Widerstandes mit der Gleichung  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$  dient zur Vorbereitung einer Problemstellung im nächsten Stoffabschnitt. Als Hausaufgabe sollen die Schüler die physikalischen Ursachen des ohmschen Widerstandes wiederholen.

**Energetische Betrachtungen.** Den Schülern ist bewußtzumachen, daß im Wechselstromkreis in ohmschen Bauelementen in gleicher Weise wie im Gleichstromkreis elektrische Energie in thermische umgewandelt wird. Als Beleg hierfür ist nicht nur die auftretende Erwärmung der Bauelemente zu nutzen, sondern auch der zeitliche Gleichlauf von Spannung und Stromstärke. Dadurch treten im Wechselstromkreis bei ohmschen Bauelementen analoge Verhältnisse wie im Gleichstromkreis auf. Die Stromstärke ist in jedem Zeitpunkt der Spannung proportional.

Ein experimenteller Nachweis des zeitlichen Gleichlaufs ist unter Verwendung von elektrischem Schalter und Oszillograph oder mit zwei Meßgeräten möglich (Wechselstrom sehr kleiner Frequenz, hergestellt z. B. durch periodisches Umschalten).

**Variante der Unterrichtsgestaltung.** Eine mögliche Variante besteht darin, den Hinweis auf den zeitlichen Gleichlauf von Stromstärke und Spannung und die damit verbundenen energetischen Betrachtungen in die folgende thematische Einheit zu verlegen. Dort bietet sich eine günstige Möglichkeit, diese Inhalte an die empfohlene Hausaufgabe anzuschließen.

## Ziele

## Die Schüler

- wissen, daß bei einer Spule im Wechselstromkreis der elektrische Widerstand größer ist als im Gleichstromkreis;
- kennen die physikalische Bedeutung der Induktivität  $L$  und die Einheit  $1\text{ H}$ ;
- kennen die Gleichung zur Berechnung des induktiven Widerstandes und können sie anwenden und interpretieren;
- kennen die Energieumwandlungen bei ohmschen Bauelementen und Spulen;
- wissen, daß im Wechselstromkreis Spulen im Gegensatz zu ohmschen Bauelementen nicht nur die Stromstärke beeinflussen, sondern auch zu einer zeitlichen Verschiebung von Spannung und Stromstärke führen;
- wissen, warum Spulen zur Begrenzung der Stromstärke in Wechselstromkreisen energetisch günstiger sind als ohmsche Bauelemente.

## Unterrichtsmittel

Universalgenerator UVG 2

Spulen

ohmsche Bauelemente

Demonstrationsoszillograph

Elektronischer Schalter

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Sicherung des Ausgangsniveaus.** In einem kurzen Schülervortrag können die physikalischen Ursachen des ohmschen Widerstandes eines Drahtes erläutert werden. Die Energieumwandlung im Draht sollte vom Lehrer in den Vordergrund gestellt werden. In einem Experiment kann die analoge Wärmewirkung von Gleich- und Wechselstrom nachgewiesen werden.

**Elektrischer Widerstand einer Spule im Wechselstromkreis.** Eine Spule wird als „aufgewickelter Draht“ bestimmter Länge, oft mit einem geschlossenen Eisenkern versehen, interpretiert. Aus der Aufgabe zur Anwendung des Widerstandsgesetzes stehen Werte für  $l$ ,  $A$ ,  $\rho$ , und  $R$  zur Verfügung. Eine diesen Werten entsprechende Spule aus dem Aufbausatz zur Elektrizitätslehre oder dem SEG wird durch Angabe des ohmschen Widerstandes charakterisiert und dieser durch  $l$ ,  $A$  und  $\rho$  begründet. Eine Prognose für die Stromstärke bei gegebener Spannung wird in einem Demonstrationsexperiment mit Wechselstrom geprüft. Als Problem kann herausgearbeitet werden, daß bei Wechselstrom eine erhebliche Abweichung von der Prognose auftritt. Eine Problemformulierung kann durch die Frage „warum ist  $R_{AC} > R_{DC}$ ?“ erfolgen. Die Problemlösung wird zweckmäßig durch eine kommentierte Experimentefolge erzielt. Dazu wird der Eisenkern der Spule während der Messung der Wechselstromstärke schrittweise entfernt. Das sich ändernde Magnetfeld erscheint damit für die Schüler glaubwürdig als Ursache eines zusätzlichen induktiven Widerstandes  $X_L$ . Mit dem Vergleich der Widerstände  $R_{AC}$ ,  $R_{DC}$  und  $X_L$  wird die Einschränkung auf Spulen mit  $R_{DC} = X_L$  vorbereitet.

**Ursachen des induktiven Widerstandes.** Die Erläuterung der physikalischen Ursachen des induktiven Widerstandes sollte so geführt werden, daß dabei eine gründliche Wiederholung des Induktionsgesetzes und des Vorganges der Selbstinduktion erfolgt. Die Energiebilanz wird nur für eine Spule mit vernachlässigbarem ohmschem Widerstand erläutert. Ein Hinweis darauf, daß in Netzwechselstromkreisen verwendete Spulen – im Gegensatz zu Spulen in Hochfrequenzkreisen – in der Praxis stets einen Eisenkern haben und damit die Bedingung  $R_{DC} \gg X_L$  hinreichend erfüllen, kann gegeben werden.

**Induktivität.** Die Induktivität  $L$  wird als Ausdruck der Selbstinduktionswirkung einer Spule behandelt und die Erläuterung der physikalischen Bedeutung der Größe sowie der Einheit 1 H entsprechend geführt. Ein Experiment soll den Hinweis auf die zeitliche Verschiebung zwischen  $U$  und  $I$  in Stromkreisen mit Spulen belegen. Weiterhin ist auf die Größen Windungszahl, Länge und Querschnittsfläche der Spule hinzuweisen, die die Induktivität bestimmen, die Bedeutung des Eisenkerns ist besonders hervorzuheben. Die Erkenntnis des Hin- und Herschwingens der Energie zwischen Spannungsquelle und Magnetfeld der Spule ist wiederholt aufzugreifen und zu vertiefen.

**Berechnung des induktiven Widerstandes.** Die Abhängigkeit des induktiven Widerstandes  $X_L$  von der Frequenz  $f$  und der Induktivität  $L$  wird durch die Stromstärkeänderungen bei konstanter Spannung  $U$  erfaßt. Bei der Variation der Frequenz ist es günstig, wenn parallel zum UVG 2 der Schullautsprecher eingesetzt wird, damit die Frequenzänderungen auch akustisch wahrnehmbar sind. Die Erläuterung der Gleichung soll sich im Rahmen der Lehrbuchdarstellung halten.

Die Schlußfolgerungen aus der Gleichung können durch den Vergleich von Spulen eingeleitet werden. Dabei wird die Erkenntnis vertieft, daß die Induktivität  $L$  und auch die Frequenz  $f$  Einfluß auf den induktiven Widerstand  $X_L$  haben. Beim Interpretieren ist hervorzuheben, daß die jeweils andere Einflußgröße konstant bleiben muß. Es empfiehlt sich, das Planen von Bestätigungsexperimenten so zu lenken, daß keine aufwendigen Meßreihen, sondern nur Verdoppelungen bzw. Verdreifachungen beider Größen zu überprüfen sind. Da Änderungen des induktiven Widerstandes  $X_L$  wieder aus Stromstärkeänderungen zu folgern sind, ist auf eine konstante Spannung zu achten. Günstig ist es, wenn in einem Experiment zum Abschluß die Induktivität durch Änderung der Windungszahl größer und damit die Stromstärke kleiner wird und anschließend durch Frequenzverringern die ursprüngliche Stromstärke wieder erreicht wird.

**Festigung und Anwendung.** Ein Vergleich der Wirkung ohmscher Bauelemente und Spulen im Wechselstromkreis soll die Gemeinsamkeiten betonen, als wesentlichster Unterschied soll die unterschiedliche Energiebilanz genannt werden. In einem Schülervortrag können Bauformen von technischen Widerständen und Spulen für unterschiedliche Einsatzzwecke vorgestellt werden, es genügen aber auch einige Hinweise des Lehrers.

Im weiteren Unterricht sollen die Schüler überwiegend selbständig tätig werden, z. B. durch das Lösen von Aufgaben (geeignet sind LB, S. 55, Nr. 1 bis 6), durch die Beobachtung und Auswertung eines Black-box-Experimentes zur Unterscheidung von Spule und ohmschem Bauelement (durch Beobachtung der Stromstärke in Abhängigkeit von Frequenzänderungen) und das Diskutieren weiterer Anwendungen von Spulen.

**Energetische Betrachtungen.** Die Erklärung des Auftretens eines induktiven Widerstandes ausgehend von der Selbstinduktion stellt einen guten Zugang zur wechselseitigen Umwandlung von elektrischer Energie und Energie des magnetischen Feldes dar. Den Schülern ist bewußt zu machen, daß die Wechselspannung einen ständigen Auf- und Abbau des magnetischen Feldes bewirkt, wobei zeitweilig elektrische Energie zur Spule fließt und einen Aufbau des magnetischen Feldes bewirkt, zeitweilig durch elektromagnetische Induktion beim Abbau des Feldes elektrische Energie von der Spule zur Spannungsquelle geliefert wird. Diese Vorgänge führen zu der zeitlichen Verschiebung von Spannung und Stromstärke, die als weiterer Beleg für das Hin- und Herpendeln der Energie gewertet werden soll.

**Bestimmung der Induktivität.** Das Schülerexperiment zur Bestimmung der Induktivität wird als Hausaufgabe vorbereitet und in der letzten Stunde der thematischen Einheit durchgeführt. In dieser Stunde sollen die Schüler nach der Anleitung (LB, S. 54) ein Schülerexperiment vorwiegend selbständig durchführen und protokollieren. Hilfen sollen differenziert gegeben werden, um auch schwächeren Schülergruppen zu einem sicheren Experimentiererfolg zu verhelfen. Es ist möglich, die Auswertung des Schülerexperimentes zu bewerten, wenn in

der Folge keine weitere experimentelle Leistungskontrolle geplant wird. In einem Lehrvortrag mit Experiment wird die Anwendung einer Spule als Drosselspule erläutert. Dazu wird zweckmäßig aus der im Schülerexperiment untersuchten Spule und einer Glühlampe eine Reihenschaltung zusammengestellt und mit einer analogen Reihenschaltung mit ohmschem Bauelement verglichen. Der Lehrvortrag basiert auf Lehrbuch S.56. Er kann durch das Zeigen von Drosselspulen, z. B. für Leuchtstofflampen, illustriert werden. Als Hausaufgabe eignet sich Nr. 3 (LB S. 57).

## Kapazitiver Widerstand und Kapazität

4 Stunden

### Ziele

#### Die Schüler

- wissen, daß ein Kondensator einen Gleichstrom unterbricht, im Wechselstromkreis aber als Widerstand wirkt;
- können die Wirkung von Kondensatoren mit den im Gleich- und Wechselstromkreis auftretenden Lade- und Entladevorgängen erklären;
- kennen die physikalische Bedeutung der Kapazität  $C$  und die Einheit  $1\text{ F}$ ;
- kennen die Gleichung zur Berechnung des kapazitiven Widerstandes und können sie interpretieren;
- können die Kapazität eines Kondensators aus Spannung, Stromstärke und Frequenz berechnen;
- wissen, daß im Wechselstromkreis Kondensatoren im Gegensatz zu ohmschen Bauelementen nicht nur die Stromstärke beeinflussen, sondern auch zu einer zeitlichen Verschiebung von Spannung und Stromstärke führen;
- kennen die Anwendung von Kondensatoren zur Glättung pulsierender Gleichströme und zur Trennung von Gleich- und Wechselstrom.

### Unterrichtsmittel

#### Plattenkondensator

Universalgenerator UVG 2

Elektronenblitzgerät (oder Kondensator  $1\,000\ \mu\text{F}$ , Glühlampe  $6\text{ V}$ ;  $0,1\text{ A}$ )

Verschiedene Kondensatoren für DE (und SE, LB, S. 61)

PSV 9 (Glättung eines gleichgerichteten Wechselstromes)

Fo:  $I$ - $t$ -Diagramme (S) (Bilder 11 und 12)

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführende Experimente.** Zur Wiederholung des Aufbaus und zur Motivation wird ein Experiment mit einem Plattenkondensator empfohlen (Platten aus dem Aufbausatz Elektrostatik, als Dielektrikum dient eine dünne Plastfolie). Um einen geringen Plattenabstand zu gewährleisten, wird das Plattenpaar mit isolierten Klemmen zusammengehalten. Beim Anlegen einer Gleichspannung ist am Strommesser erkennbar, daß der Stromfluß unterbrochen ist. Beim Anlegen einer Wechselspannung (UVG 2,  $100\text{ kHz}$ , Rechteckausgang  $10\text{ V}$ ) ist bei einem Meßbereich  $\leq 10\text{ mA}$  ein ständiger Stromfluß erkennbar. Die Unterbrechung des Gleichstromkreises soll auch mit technischen Kondensatoren höherer Kapazität gezeigt werden; gleichzeitig ist das kurzzeitige Fließen des Ladestromes und beim Umpolen des Kondensators ein erneuter Stromfluß durch Entlade- und Ladestrom zu demonstrieren.

Im Unterrichtsgespräch wird damit das Wechselstromverhalten begründet; ein erster Hinweis zur Frequenzabhängigkeit der Stromstärke (bei  $U = \text{konstant}$ ) kann gegeben werden.

**Kondensatoren im Gleich- und Wechselstromkreis.** Als Beispiele für die Anwendung in beiden Stromkreisen eignet sich der Einsatz von Kondensatoren in Blitzgeräten als Energiespeicher, als „Widerstand“ in Wechselstromkreisen hoher Frequenz und zur Trennung von Gleich- und Wechselstrom. Die Erklärung der Gleichstromanwendung gibt eine gute Überleitung zum Hinweis auf den Bau entsprechender Kondensatoren, da es hier auf eine große Aufnahmefähigkeit für Ladungen ankommt. Der Hinweis ist zweckmäßig durch das Zeigen von Mustern zu illustrieren. Unterschiedliche Widerstandswirkungen verschieden aufgebauter Kondensatoren im gleichen Wechselstromkreis kann man mit einem Drehkondensator entsprechend dem Einführungsexperiment demonstrieren, ein Drehkondensator 500 pF ermöglicht eine Stromstärkeänderung von etwa 0 mA bis 2 mA. In der Zusammenfassung ist der Widerstandsvergleich für den Wechsel- und Gleichstromkreis zu betonen ( $R \gg R_c$ ).

**Ursachen des kapazitiven Widerstandes.** Der Kondensator wird als „Widerstand“ für Wechselstrom interpretiert, weil der Stromfluß begrenzt wird. Die Erläuterung der physikalischen Ursachen des kapazitiven Widerstandes  $X_C$  soll den Schülern aber bewußtmachen, daß ein Stromfluß möglich ist, dem durch die technisch bedingte begrenzte Aufnahmefähigkeit des Kondensators Grenzen gesetzt sind. Die Schüler sollen erkennen, daß ein wenig aufnahmefähiger Kondensator einen großen Widerstand, ein aufnahmefähigerer Kondensator aber einen geringeren Widerstand darstellt. Vergleichsexperimente sind stets bei gleicher Spannung durchzuführen, damit aus der Stromstärkeänderung die Widerstandsänderung erkannt werden kann. Beim experimentellen Bestimmen eines kapazitiven Widerstandes empfiehlt es sich, mit Netzfrequenz zu arbeiten. Die Schüler sollten die Meßwerte selbständig auswerten.

Bei der Behandlung der zeitlichen Verschiebung zwischen Spannung und Stromstärke soll der Unterschied zur Spule im Vordergrund stehen. Besonderes Augenmerk ist der Erläuterung der Energieumwandlungen zuzuwenden. Es sollte wieder hervorgehoben werden, daß beim Einsatz von Kondensatoren als Widerstand kaum „Energieverluste“ auftreten, sondern vorwiegend Energie zwischen Spannungsquelle und elektrischem Feld des Kondensators hin- und herpendelt.

**Kapazität eines Kondensators.** Die physikalische Größe Kapazität  $C$  soll als Kennzeichen für die durch den Bau des Kondensators bestimmte Speicherfähigkeit behandelt werden. Die Erarbeitung kann sich am Lehrbuch, S. 57, orientieren und durch Experimente unterstützt werden, bei denen z. B. der Plattenkondensator des Einführungsexperimentes durch veränderte Plattenfläche oder veränderten Abstand eine Stromstärkezu- oder -abnahme bewirkt. Auch die Auswirkung einer Änderung der Spannung bei gleicher Kapazität ist mit diesem Experiment zu demonstrieren. Die Abhängigkeit der gespeicherten Ladungen von Kapazität und Spannung sollte betont werden, ohne die Gleichung  $C = \frac{Q}{U}$  explizite zu geben.

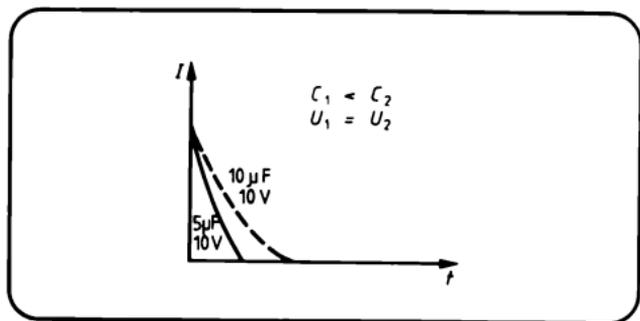


Bild 11 Folie  
I-t-Diagramm

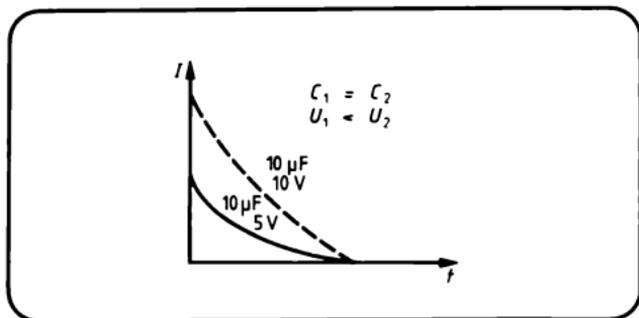


Bild 12 Folie  
I-t-Diagramm

Vor dem Einsatz der Folien (Bilder 11 und 12) ist zu klären, daß Entladevorgänge über einen Widerstand verglichen werden sollen. Ein Demonstrationsexperiment zum Verlauf der I-t-Diagramme kann das Erfassen der physikalischen Bedeutung der Kapazität unterstützen. Es ist vor allem Wert auf solche Aussagen zu legen, wie: „Kondensator 1 ermöglicht einen meßbaren Stromfluß von längerer Dauer, weil er bei gleicher Spannung aufgrund seiner größeren Kapazität mehr Ladung gespeichert hat“ oder „Kondensatoren speichern bei größerer Spannung mehr Ladung, die Entladestromstärke ist größer“. Ein Hinweis auf die Abhängigkeit des Kurvenverlaufs im I-t-Diagramm vom Entladungswiderstand kann gegeben werden. Nach Auswertung der Tabelle im Lehrbuch, S. 58, und Umrechnen von Teilen der Einheit 1 F wird zweckmäßig für 2 Kondensatoren (z. B. 50 µF und 100 µF) die Wechselstromstärke bei gleicher Spannung gemessen und mit der Kapazität begründet.

**Gleichung zur Berechnung des kapazitiven Widerstandes.** Die Erarbeitung, Interpretation und Anwendung der Gleichung zur Berechnung des kapazitiven Widerstandes können analog zu denen für den induktiven Widerstand gestaltet werden.

Bei der Diskussion von Möglichkeiten zur experimentellen Bestimmung der Kapazität ist das Wissen über die Bestimmung der Induktivität anzuwenden.

**Festigung, Anwendung und Kontrolle.** Hauptinhalt einer der Unterrichtsstunden kann ein nach Lehrbuch, S. 61, selbständig ausgewertetes Experiment sein, wenn eine experimentelle Leistungskontrolle geplant wird. Dabei ist es möglich, die Messungen als Demonstrationsexperiment oder Schülerexperiment zu organisieren.

Im weiteren Stundenverlauf sollten dann Anwendungen von Kondensatoren entsprechend Lehrbuch, S. 63, erläutert und demonstriert werden. Zum Verständnis der Glättung pulsierenden Gleichstromes ist es günstig, wenn im Rahmen der Prüfungsvorbereitung die Gleichrichtung vorbereitend wiederholt wurde.

Eine abschließende Stunde sollte so gestaltet werden, daß noch vorhandene Wissens- und Könnenslücken geschlossen werden. Außerdem muß ein zusammenfassender Überblick über Bauelemente im Wechselstromkreis erarbeitet werden.

Einige Schwerpunkte dieser Unterrichtsstunde können sein:

- Auswerten der experimentellen Leistungskontrolle;
- Arbeiten mit der Übersicht Lehrbuch, S. 65;
- Systematisieren der Eigenschaften von Spule und Kondensator;
- Lösen ausgewählter Aufgaben und Erläutern von Lösungsbeispielen (auf Fo vorbereiten);
- Erläutern technischer Anwendungen von Spule und Kondensator;
- Hinweisen auf Schwerpunkte einer schriftlichen Leistungskontrolle.

## Leistung im Wechselstromkreis und rationelle Übertragung elektrischer Energie durch Wechselströme

1 Stunde

Die Behandlung der elektrischen Leistung soll die Schüler befähigen, die Bedeutung von Maßnahmen zur rationellen Energieübertragung zu verstehen.

### Ziele

Die Schüler

- können die physikalische Bedeutung der Wirkleistung im Wechselstromkreis erläutern;
- kennen die Gleichung zur Berechnung der Wirkleistung und die physikalische Bedeutung des Leistungsfaktors;
- kennen Maßnahmen zur rationellen Übertragung elektrischer Energie durch Wechselströme.

### Unterrichtsmittel

Universalgenerator UVG 2

Spule

Kondensator

Leistungs- bzw. Wirkstrommesser

2 Transformatoren

Widerstand (stellbar)

Glühlampe

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Leistung im Wechselstromkreis.** Durch einen Lehrervortrag mit Experimenten werden die Schüler mit einigen wesentlichen Fragen der Leistung im Wechselstromkreis bekannt gemacht. Im Vordergrund steht der Begriff der Wirkleistung, der mit den auftretenden Energieumwandlungen erklärt wird. Eine Angabe der Netzbelastung durch die Scheinleistung ist nicht vorgesehen, aber die Beziehung  $P_w \leq P_s$  wird inhaltlich aus den Energieumwandlungen gefolgert. Die Gleichung  $P_w = U \cdot I \cdot \cos \varphi$  wird gegeben und interpretiert.

Im Lehrervortrag ist vor allem deutlich zu machen: Im Wechselstromkreis wird dann die größte Leistung umgesetzt, wenn keine zeitliche Verschiebung zwischen Spannung und Stromstärke auftritt. In diesem Fall errechnet sich die Wirkleistung nach der Gleichung für die Leistung im Gleichstromkreis. Es ist aber meistens eine bestimmte zeitliche Verschiebung vorhanden, die die umgesetzte Wirkleistung vermindert. Das findet durch den Faktor  $\cos \varphi$  seinen Ausdruck, der in Stromkreisen ohne zeitliche Verschiebung den Wert 1 annimmt, hingegen bei Stromkreisen mit Spulen oder Kondensatoren kleiner als 1 bis nahezu 0 ist. Im letzten Falle wird keine Leistung umgesetzt, die Energie pendelt zwischen Spannungsquelle und Bauelement. Der Stromfluß bedeutet aber eine Belastung des Leitungsnetzes und führt zu Verlusten durch Stromwärme.

**Rationelle Energieübertragung.** An Beispielen (z. B. „Phasenschieberkondensator“ und „Trafostationen“) werden die Schüler mit Maßnahmen zur rationellen Energieübertragung bekannt gemacht. Als Demonstrationsexperiment kann in einem Wechselstromkreis mit Spule gezeigt werden, daß die Stromstärke in den Leitungen durch einen zur Spule parallel geschalteten Kondensator vermindert wird, in der Spule aber die Stromstärke unverändert bleibt. Die erreichbare Abnahme der Stromstärke in der Zuleitung ist im Resonanzfall ( $X_L = X_C$ ) erheblich, bei höherer Frequenz genügt dazu schon ein Kondensator geringerer Kapazität (Frequenz am UVG 2 geeignet einstellen). Den Schülern soll aber nur erläutert

werden, daß der Kondensator als Kurzzeitenergiespeicher wirkt, das Pendeln der Energie zwischen Spannungsquelle und Spule auf die Parallelschaltung von Kondensator und Spule reduziert wird und so die Leitungen (das Netz!) entlastet werden. Der Vorteil der Netzentlastung wird durch eine Diskussion der Übertragungsverluste begründet. Dabei ist an die Ergebnisse des ESP-Unterrichtes anzuknüpfen. Dort wird der Zusammenhang zwischen Stromstärke und Wärmeabgabe von elektrischen Leitern behandelt.

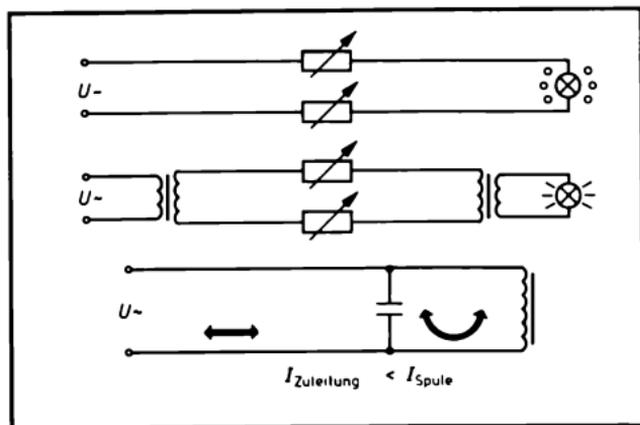


Bild 13 Tafelbild zur rationellen Energieübertragung

Die Simulation einer Fernleitung erfolgt durch eine Reihenschaltung von Glühlampe und stellbaren Widerständen, die Länge der Leitung wird durch den stellbaren Widerstand nachgebildet. Wenn durch Vergrößerung des elektrischen Widerstandes (lange Übertragungsstrecke) eine deutliche Helligkeitsabnahme der Lampe erreicht ist, wird der Trafoeinsatz dadurch begründet, daß eine weitere Maßnahme zur rationelleren Energieübertragung nötig wird. Das Experiment wird entsprechend den Empfehlungen in PSV 9 gestaltet.

Eine Zusammenfassung kann wirkungsvoll durch ein Tafelbild unterstützt werden. Es soll das Prinzip der rationellen Energieübertragung verdeutlichen. Herauszuarbeiten ist in der Zusammenfassung, welche Bedeutung der Wechselstrom für die umfassende Elektrifizierung in Technik, Produktion und im gesellschaftlichen Leben besitzt.

### Schriftliche Leistungskontrolle

1 Stunde

Unterrichtsmittel

Universalgenerator UVG 2

Spule oder Kondensator

Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Vorschlag von Aufgaben für eine Klassenarbeit.** Die Aufgabenvorschläge sind in thematische Gruppen geordnet, bei der Zusammenstellung der Klassenarbeit sollte aus jeder Aufgabengruppe eine Aufgabe gewählt oder eine entsprechende Aufgabe formuliert werden.

#### I Demonstrationsexperiment

1. An zwei gleiche Reihenschaltungen von Spule und Glühlampe wird in einem Fall Gleichspannung und im anderen Fall eine gleichgroße Wechselspannung angelegt. Be-

obachten Sie die Helligkeit der Glühlampe in beiden Experimenten und ordnen Sie den Experimenten die jeweilige Spannungsart zu! Begründen Sie die Zuordnung!

2. Analoge Aufgabe zu 1., aber mit Kondensatoren.
3. In einer Blackbox befindet sich entweder ein ohmsches Bauelement, eine Spule oder ein Kondensator. Beobachten Sie, wie sich die Stromstärke verhält, wenn die Frequenz vergrößert wird ( $U = \text{konstant}$ )! Entscheiden Sie, welches Bauelement vorliegt und begründen Sie die Entscheidung!

### II Wechselstromkreis

4. Berechnen Sie den induktiven Widerstand einer Spule aus den Meßwerten  $U = 6 \text{ V}$  und  $I = 12 \text{ mA}$ ! Wie würde sich der induktive Widerstand ändern, wenn die Frequenz verdoppelt würde?
5. Analoge Aufgabe zu 4. für einen Kondensator.
6. In je einem Wechselstromkreis mit ohmschem Bauelement, Spule und Kondensator wird die Frequenz verdoppelt. Welche Veränderungen der Stromstärke treten ein, wenn die Spannung unverändert bleibt? Begründen Sie eine der drei Entscheidungen ausführlich!

### III Bauelementeigenschaften

7. Erläutern Sie die physikalische Bedeutung der Kapazität  $C$  eines Kondensators! (kann auch für die Induktivität  $L$  formuliert werden)
8. Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem induktiven Widerstand  $X_L$  einer Spule und ihrer Induktivität  $L$  bei Netzwechselstrom? (kann auch für einen Kondensator formuliert werden)
9. Erläutern Sie die physikalischen Ursachen des kapazitiven Widerstandes  $X_C$  eines Kondensators! (kann auch für den induktiven Widerstand  $X_L$  oder den ohmschen Widerstand  $R$  formuliert werden)

### IV Anwendungen

10. Erläutern Sie, warum eine Drosselspule als Vorwiderstand in einem Wechselstromkreis energetisch günstiger ist als ein entsprechendes ohmsches Bauelement!
10. Erläutern Sie die Wirkungsweise einer Schaltung zur Trennung von Gleich- und Wechselstrom! (Schaltplan vorgeben!)
11. Beschreiben Sie die Energieumwandlungen in einem Wechselstromkreis mit Spule! (kann auch für Kondensator oder ohmsches Bauelement formuliert werden)

## Stoffeinheit Schwingkreis

4 Stunden

### Ziele und inhaltliche Schwerpunkte

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen der *Aufbau und die Wirkungsweise eines Parallel-schwingkreises, die Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen sowie die Anwendung elektromagnetischer Schwingungen in Produktion und Medizin*. Der zentrale Begriff ist dabei der der elektromagnetischen Schwingung. Im Stoffgebiet „Mechanik“ wurde zunächst der Begriff mechanische Schwingungen verallgemeinert. Während der Schwingungsbegriff in der Stoffeinheit „Wechselstrom“ deutlich in den Hintergrund trat, kommt ihm in der Stoffeinheit „Schwingkreis“ zentrale Bedeutung zu.

Besondere Schwerpunkte sind die Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen und die Thomsonsche Schwingungsgleichung. Damit werden die Verbindung des Physikunterrichts mit dem Leben durch die Einbeziehung technischer Anwendungen sowie

die Anwendung der Mathematik bei der Analyse und Interpretation der Thomsonschen Schwingungsgleichung fortgesetzt. Für die Behandlung dieser Stoffeinheit müssen wesentliche Grundlagen aus dem Physik- und Mathematikunterricht der Klasse 9 reaktiviert sowie grundlegende Begriffe und Gesetze der Stoffeinheiten „Mechanische Schwingungen“ und „Wechselstrom“ übertragen und angewendet werden. Das trifft in erster Linie für die Eigenschaften von Kondensator und Spule zu, die ein Erklären des Zusammenwirkens von Kondensator und Spule ermöglichen.

Andererseits sind die in dieser Stoffeinheit zu verwirklichenden Ziele eine notwendige Voraussetzung für das Verständnis der Erzeugung und des Empfangs Hertzscher Wellen. Die Beachtung dieser lehrplangemäßen inhaltlichen Schwerpunkte und inneren Zusammenhänge dient der Einordnung der Stoffeinheit Schwingkreis in den Lehrgang der Klasse 10.

Die Persönlichkeitsentwicklung der Schüler wird durch Ausübung anspruchsvoller Schülerleistungen gefördert. Mit den im Lehrplan geforderten Tätigkeiten Beschreiben, Erklären, Interpretieren und Erläutern werden die Fähigkeiten des mündlichen und schriftlichen Ausdrucks in der Fachsprache der Physik im Hinblick auf den Abschlußcharakter dieser Klassenstufe vervollkommen.

### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Stoffeinheit, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivieren- des Wissen	Experimente, besondere Unter- richtsmittel, Schüleraufträge
<i>Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen im Schwingkreis</i> Bauelemente Wirkungsweise Energieumwandlungen im Schwingkreis Periodische Umwandlungen zwischen magnetischer und elektrischer Feldenergie Erhaltung der Energie Dämpfung Eigenfrequenzen von Schwingkreisen Thomsonsche Schwingungsgleichung Berechnen von Schwingkreisfrequenzen Erzeugung und Anwendung ungedämpfter Schwingungen Erzwungene Schwingungen Resonanz Technische und medizinische Anwendungen  4 Std.	Elektrische und magnetische Felder, Induktionsgesetz, Lenzsches Gesetz, Selbstinduktion, Feldlinienbilder, Gesetz von der Erhaltung der Energie bei mechanischen Vorgängen (Ph 9) Gesetz von der Erhaltung der Energie (Ph 7) Wurzelfunktion (Ma 9)	DE: Nachweis von Sinusschwingungen, Demonstrationsoszillograph DE: Erzeugen gedämpfter Schwingungen DE: Abhängigkeit der Periodendauer von $\sqrt{L}$ und $\sqrt{C}$ DE: Erregen von Schwingkreisen mittels UVG DE: Resonanz

## Empfehlungen zur Gestaltung der Stoffeinheit

### Ziele

#### Die Schüler

- kennen den Aufbau eines Schwingkreises;
- wissen, wie elektromagnetische Schwingungen im Schwingkreis entstehen;
- können zeitliche Veränderungen der Felder und Energieumwandlungen im Schwingkreis beschreiben;
- können die Thomsonsche Schwingungsgleichung interpretieren und Eigenfrequenzen von Schwingkreisen berechnen;
- können Experimente zur Bestätigung der in der Thomsonschen Schwingungsgleichung enthaltenen Abhängigkeiten vorschlagen;
- können Anwendungsbeispiele für elektromagnetische Schwingungen erläutern.

### Unterrichtsmittel

Kondensatoren  
Spulen  
Lautsprecher

Demonstrationsoszillograph  
Universalgenerator UVG 2

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Wege der Erkenntnisgewinnung.** Ein charakteristisches Merkmal für die Erkenntnisgewinnung in dieser Stoffeinheit ist, daß neue physikalische Einsichten stets *empirisch* fundiert werden durch Demonstrationsexperimente mit Interpretation von Oszillogrammen. Das gilt für den sinusförmigen Verlauf der Schwingungsvorgänge, ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen, Frequenz- und Amplitudenvergleiche, das Vergleichen von Frequenzen bei der Abhängigkeit der Eigenfrequenz von Induktivität und Kapazität. Zugleich werden jedoch auch hohe Ansprüche an die Erfassung theoretischer Zusammenhänge gestellt wie beim Erklären der Vorgänge im Schwingkreis, bei der Interpretation der Thomsonschen Gleichung und bei der physikalisch korrekten Formulierung des Satzes von der Erhaltung der Energie nebst seiner Anwendung auf den Schwingkreis.

**Reaktivierung der Vorkenntnisse der Schüler.** Das Verständnis elektromagnetischer Vorgänge im Schwingkreis setzt nicht nur Kenntnisse über elektrische und magnetische Felder, sondern auch über das Induktionsgesetz, das Lenzsche Gesetz sowie über die Ladungsspeicherung im Kondensator sowie über Schwingungen voraus. Diese Grundlagen können zu Beginn der Stoffeinheit oder dann, wenn sie benötigt werden, wiederholt werden. Es wird vorgeschlagen, daß das Induktionsgesetz und das Gesetz von der Erhaltung der Energie wegen ihrer grundlegenden Bedeutung zu Beginn reaktiviert werden sollten, während Kenntnisse über die mechanischen Schwingungen in unmittelbarer Verbindung mit dem neuen Stoff zur Weiterführung des Erkenntnisprozesses herangezogen und dabei wiederholt und gefestigt werden sollten.

**Einführung in die Stoffeinheit.** Um den Schülern die Behandlung des elektromagnetischen Schwingkreises als Grundlage wichtiger technischer Anwendungen zu motivieren, kann dem Lehrbuch entsprechend von technischen Geräten in der Kabine eines Raumschiffes, aber auch von anderen Bereichen ausgegangen werden. Zusätzlich kann ein motivierendes Demonstrationsexperiment durchgeführt werden. Das später zum Nachweis erzwungener Schwingungen vorgesehene Experiment gemäß LBA 71/1 bietet – im Tonfrequenzbereich und mit Lautsprecher betrieben – die Möglichkeit gleichzeitiger optischer und akustischer Wahrnehmung.

Um das wissenschaftlich-technische Interesse der Schüler zu fördern und gleichzeitig die thematische Geschlossenheit der Stoffeinheit deutlich zu machen, können einleitend auch die am Ende der Stoffeinheit zu erläuternden technischen und medizinischen Anwendungen genannt werden.

**Aufbau und Wirkungsweise des Schwingkreises.** Mit dem experimentellen Nachweis von Sinusschwingungen wird gemäß Lehrplankonzeption von empirischen Befunden ausgegangen. Bei den entsprechenden Demonstrationsexperimenten ist die Zeitablenkung des Oszillographen derart einzustellen, daß die Dämpfung den Schülern bei Beobachtung des Bildschirms noch nicht deutlich wird. Zweck der Demonstration ist, daß die Schüler die Übereinstimmung des Schirmbildes mit den aus der Stoffeinheit „Mechanische Schwingungen“ bekannten Sinusschwingungen erkennen.

Bei der Erklärung der Wirkungsweise des Schwingkreises, die mit der Auswertung des Schirmbildes beginnt, wenden die Schüler ihr Wissen über Induktion und Lenzsches Gesetz an. Inhaltlicher Schwerpunkt ist dabei die Einsicht, daß beim Abbau des magnetischen Feldes ein Strom induziert wird, der nach dem Lenzschen Gesetz in gleicher Richtung wie der Entladestrom des Kondensators fließt.

Es ist auch möglich, bei der Erklärung der Wirkungsweise entsprechend der in Klasse 8 vorgeschlagenen Gliederung vorzugehen.

#### **Erklärung der Wirkungsweise des Schwingkreises Aussagen zur beobachteten Erscheinung**

Im Experiment wurde ein sinusförmiger periodischer Vorgang beobachtet (LBA 67/1).

#### **Bedingungen, unter denen die Erscheinung auftritt**

Es ist ein geschlossener Schwingkreis vorhanden, dessen Kondensator zu Beginn des Vorganges geladen ist (LBA 66/3).

#### **Gesetze, die für die Erscheinung gelten**

Induktionsgesetz, Lenzsches Gesetz, Ladungsspeicherung im Kondensator

#### **Ableitung der Aussagen über die beobachtete Erscheinung aus den Gesetzen**

Der Entladestrom baut in der Spule ein Magnetfeld auf. Aus dem Induktionsgesetz folgt, daß das Magnetfeld der Spule bei Abnahme des Entladestroms einen Induktionsstrom induziert (Selbstinduktion). Dieser Induktionsstrom fließt nach dem Lenzschen Gesetz in gleicher Richtung wie der abnehmende Entladestrom. Dadurch wird der Kondensator wieder aufgeladen, wobei die Platten nun umgekehrt gepolt sind.

Dieser Entlade-, Induktions- und Ladevorgang verläuft anschließend in entgegengesetzter Richtung und wiederholt sich dann periodisch. Dementsprechend beobachtet man auf dem Bildschirm einen periodischen Vorgang.

(Hierzu ist zu beachten: Die qualitativen Überlegungen des Schlußverfahrens ermöglichen es nur, das Auftreten eines periodischen Vorganges herzuleiten, ein zwingendes Schließen auf die sinusförmige Änderung der physikalischen Größen ist jedoch nicht möglich.)

Mit der Erkenntnis des periodischen Auf- und Abbaus der elektrischen und magnetischen Felder wird der Begriff der elektromagnetischen Schwingung begründet. Die in Klasse 9 angelegte Betrachtung zeitlich veränderlicher elektrischer und magnetischer Felder wird mit dem Zusammenwirken dieser Felder im Schwingkreis weitergeführt. Die Schüler sind zu besonderer sprachlicher Sorgfalt bei der Unterscheidung der Existenz der Felder und der sie modellmäßig veranschaulichenden Feldlinienbilder zu erziehen.

**Energieumwandlungen im Schwingkreis.** In Weiterführung der energetischen Linienführung empfiehlt es sich, die Energieumwandlungen im Schwingkreis dem Lehrbuch entsprechend über eine volle Periodendauer zu betrachten. Die anhand der LBA 68/1 jeweils nach

$\frac{1}{4}$  Periodendauer skizzierten Überlegungen haben idealisierenden Charakter. Sie ermöglichen so, bei geringerem zeitlichem Aufwand zusätzlich den Stromstärke- und Spannungsverlauf mitzuerfassen.

**Nutzung von Analogien zu den mechanischen Schwingungen.** Ein wesentliches Mittel zur effektiven Gestaltung des Aneignungsprozesses ist die bewußte Nutzung von Analogien zu den mechanischen Schwingungen. Bereits die Tatsache, daß die Erkenntnisgewinnung der Schüler in derselben Abfolge wie bei den mechanischen Schwingungen gestaltet wird, leistet einen Beitrag zur Systemhaftigkeit des Wissens.

In Analogie zur Behandlung des Federschwingers können die Schüler unter Voraussetzung verlustloser Energieumwandlungen zwischen elektrischem und magnetischem Feld auf die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes für den Schwingkreis schließen. In Weiterführung der Analogie zu den mechanischen Schwingungen kann die Tatsache der Dämpfung elektromagnetischer Schwingungen von den Schülern selbst vermutet werden. Auf diese Weise läßt sich die Wiederholung des Experiments unter genauer Beobachtung der Amplituden auf dem Bildschirm motivieren. Die Schüler sind dann aufzufordern, auch über die Ursachen der Dämpfung Vermutungen zu äußern, Überlegungen zur Umwandlung in thermische Energie anzustellen.

Zu den Energieumwandlungen im Schwingkreis, ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen, wird das Tafelbild (Bild 14) vorgeschlagen. Den Schülern ist bewußt zu machen, daß die experimentelle Bestätigung der Vermutung – Beobachtung gedämpfter Schwingungen – zur Erkenntnissicherung notwendig ist. Hier wird der Erkenntnisweg mit weiterer empirischer Fundierung fortgesetzt, nachdem die zuvor angestellten energetischen Betrachtungen ergänzenden und die Analogiebetrachtungen zu den mechanischen Schwingungen orientierenden Charakter in der Führung des Erkenntnisprozesses hatten.

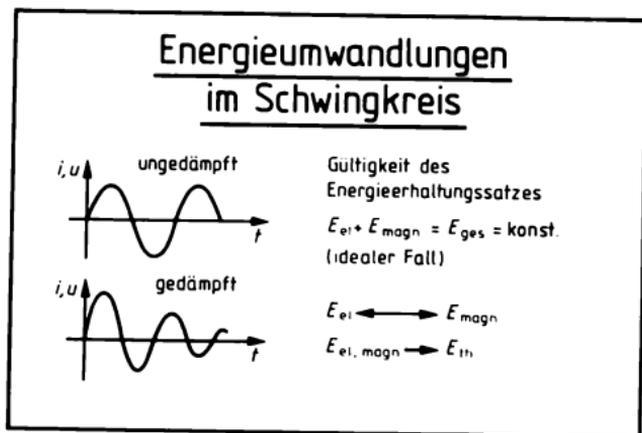


Bild 14 Tafelbild  
zu den Energieumwand-  
lungen im Schwingkreis

**Der methodische Weg zur Thomsonschen Schwingungsgleichung.** Um die Schüler auf den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen Periodendauer bzw. Frequenz und der Induktivität und Kapazität hinzuweisen, bieten sich 2 Varianten an. Eine Variante geht von Analogiebetrachtungen zu den mechanischen Schwingungen aus, die andere beginnt mit einem Demonstrationsexperiment. Im ersten Falle werden – z. B. ausgehend von betrachteten Federschwingern – Aussagen bezüglich der Abhängigkeit der Periodendauer von der Federkonstanten und der Masse getroffen. Die Schüler vermuten, daß auch Schwingkreise mit ver-

schiedener Kapazität und Induktivität Eigenschwingungen mit unterschiedlicher Periodendauer ausführen. Da sie sowohl das Entstehen mechanischer als auch elektromagnetischer Schwingungen erklären können, sind sie in der Lage, diese Vermutung mit ihrem Wissen zu begründen. Im zweiten Falle wird mit dem Experiment die Frage gestellt, ob sich bei Verändern der Kapazität bzw. Induktivität die Periodendauer des Schwingkreises ändert. Durch Schätzen der bei jedem Telexperiment auf dem Bildschirm aufgezeichneten Perioden wird die Veränderung erkannt.

Das Ziel des Demonstrationsexperimentes sollte – unabhängig von seinem methodischen Einsatz – nur darin bestehen, die Abhängigkeit der Periodendauer zu zeigen. Dadurch wird nicht der zielgerichteten Planung von Experimenten vorgegriffen, die im Zusammenhang mit der Interpretation der Thomsonschen Schwingungsgleichung vorgesehen sind. Die Begriffe Eigenschwingung und Eigenfrequenz werden wie bei den mechanischen Schwingungen gebraucht.

**Eigenfrequenzen von Schwingkreisen.** Nach dieser Erweiterung der empirischen Basis gibt der Lehrer mit Hinweis auf die Bedeutung der Eigenfrequenz die Thomsonsche Schwingungsgleichung zur Berechnung von Periodendauern. Das Interpretieren dieser Gleichung hat einerseits als Schülertätigkeit typischen Charakter; im Mittelpunkt steht dabei die Kennzeichnung des Informationsgehaltes, die physikalische Bedeutung der voneinander abhängigen Größen und die spezifische mathematische Form dieser Abhängigkeiten. Andererseits ist dieses Beispiel der Anwendung der Mathematik kennzeichnend für den hohen Anspruch des Abschlussniveaus der Schülertätigkeiten. Aus Gründen der Faßlichkeit und der Analogie zu den Gleichungen für die Periodendauer von Federschwinger und Fadenpendel ist es zweckmäßig, zunächst die Interpretation der Thomsonschen Schwingungsgleichung in der Form  $T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$  vorzunehmen.

Danach wird sie in die Form  $f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$  umgeformt. Die Verwendung beider Gleichungen kompliziert den Aneignungsprozeß. Es ist deshalb sorgfältig zu überlegen, wann man Aussagen über die Periodendauer und wann über die Frequenz machen sollte. Wichtig ist das wiederholte Bewußtmachen und Anwenden der Beziehung  $f = \frac{1}{T}$ .

Zur Berechnung der Eigenfrequenz empfehlen sich zunächst formale Aufgaben (z. B.  $L = 0,5 \text{ H}$ ,  $C = 0,1 \mu\text{F}$ ). Durch das Abstimmen mehrerer Aufgaben aufeinander (z. B.  $L = 0,5 \text{ H}$ ,  $C = 0,4 \mu\text{F}$ ;  $L = 2 \text{ H}$ ,  $C = 0,4 \mu\text{F}$ ) wird das inhaltliche Lösen ermöglicht und dadurch ein tieferes Verständnis erreicht. Weiterhin werden dadurch die Experimente zur Resonanz vorbereitet.

Für die Berechnung von Eigenfrequenzen mit der Thomsonschen Schwingungsgleichung werden im folgenden für die in den SEG-Sätzen enthaltenen Spulen Induktivitäten angegeben:

Spule (Wdg.)	ohne Kern	mit I-Kern	mit U-Kern	mit geschlossenem Kern
3 000 (2 500/500)	–	0,5 H	1 H	3,8 H
1 000 (750/250)	14 mH	65 mH	100 mH	400 mH
500 (250/250)	3,5 mH	15 mH	30 mH	100 mH

Die für die folgende Stunde zu berechnende Frequenz ist jene Eigenfrequenz, auf die der UVG 2 im Resonanzfall abzustimmen ist.

**Ungedämpfte, erzwungene Schwingungen.** Die Schüler könnten den einleitenden Lehrbuchabschnitt zu den ungedämpften Schwingungen und nochmals die Motivation für die Stoffeinheit lesen. Sie gewinnen dadurch die Überzeugung von der Notwendigkeit periodischer Energiezufuhr für Schwingkreise, die technischen Zwecken dienen.

Dem experimentellen Nachweis, daß ein fremderregter Schwingkreis erzwungene Schwingungen ausführt, dient das Experiment gemäß LBA 71/1. Um die gleiche Anordnung auch für die Demonstration der Resonanz einsetzen zu können, ist folgendes Vorgehen zweckmäßig: Erregerspule und die als Induktionsspule wirkende Schwingkreisspule haben je 3000 Wdg. mit I-Kern. Bei parallel gestellten Spulenachsen sollte der Abstand ca. 10 cm betragen; die Kapazität des Kondensators  $0,1 \mu\text{F}$ , die vom UVG 2 bereitgestellte Spannung 10 V. Bei externer Synchronisation der X-Ablenkung des ED 2 können die Schüler ein stehendes Bild beobachten. Damit erfüllt das Experiment zwei Funktionen:

- Der Schwingkreis führt ungedämpfte erzwungene Schwingungen mit der Erregerfrequenz aus;
- Im Resonanzfall erreichen die Stromstärke- und Spannungsamplituden im Schwingkreis ein Maximum.

Die Anwendung der den Schülern aus der Mechanik bekannten Resonanzbedingung  $f_E = f_0$  eröffnet eine gute Möglichkeit für die aktive Schülermitwirkung am Erkenntnisprozeß: Das Ergebnis der bei Anwendung der Thomsonschen Gleichung gemeinsam gelösten Aufgabe, die Eigenfrequenz des für das Resonanzexperiment vorgesehenen Schwingkreises zu berechnen, ist etwa 750 Hz. Erreicht nun die Erregerfrequenz des durchstimmbaren Generators diese Frequenz und die Schüler erkennen den maximalen Wert der Amplituden, so ist damit zugleich das mittels Thomsonscher Gleichung vorausberechnete Ergebnis bestätigt worden.

**Anwendungen elektromagnetischer Schwingungen.** Bei Behandlung dieses Teilthemas erkennen die Schüler vor allem die Vielseitigkeit des Einsatzes von Schwingkreisen. Das Prinzip der induktiven und kapazitiven Erwärmung können sich die Schüler in selbständiger Arbeit aneignen. In die Erläuterungen der medizinischen Anwendungen sind möglichst Schülererfahrungen einzubeziehen.

## **Stoffeinheit Hertzsche Wellen**

7 Stunden

### *Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen die *Eigenschaften Hertzscher Wellen, das Senden und Empfangen Hertzscher Wellen und die Notwendigkeit der Modulation und Demodulation.*

Unter Nutzung der Analogien werden die Kenntnisse und Erkenntnisse der Schüler aus der Stoffeinheit „Mechanische Wellen“ auf die Hertzschen Wellen übertragen. Damit werden gleichzeitig Voraussetzungen für die Behandlung der Wellenoptik geschaffen. Die Eigenschaften von Wellen sollen vertieft und gefestigt werden. Diesem Ziel ist die Stoffanordnung und -aufbereitung untergeordnet. Das Vorgehen erfolgt entsprechend dem bei den mechanischen Wellen. Es finden analoge experimentelle Anordnungen Verwendung.

Die Linienführung, die die Anwendung von Kondensator und Spule und die Nutzung ihrer Eigenschaften betrifft, wird weiter verfolgt und abgeschlossen. Sie setzte nach der Behandlung dieser Bauelemente in der Stoffeinheit „Wechselstrom“ mit der Untersuchung ihres Verhaltens im Wechselstromkreis ein. In der Stoffeinheit „Schwingkreis“ wurden die Eigenschaften von Kondensator und Spule zielgerichtet zur Erklärung der Wirkungsweise des Schwingkreises genutzt. Damit erfolgte eine erste explizite Wiederholung und eine Anwendung unter neuen Bedingungen. In der Stoffeinheit „Hertzsche Wellen“ erfolgt eine er-

neute Wiederholung und Anwendung der Kenntnisse ausgehend vom geschlossenen über den geöffneten Schwingkreis zum Dipol. Dabei wird eine immer stärkere gedankliche Lösung von den diskreten Bauelementen Kondensator und Spule und ein Übertragen der Kenntnisse auf einen schwingenden Dipol und die periodische Bewegung der Elektronen in ihm vorgenommen.

Die *Einführung in die Stoffeinheit* kann ausgehend von der Entdeckungsgeschichte erfolgen. Am Beispiel des Schicksals der Erfindungen von Popow in Rußland und am Beispiel der schnellen Nutzung der Erfindungen von Marconi im kapitalistisch entwickelten Europa infolge der starken praktischen Bedürfnisse sollen die Schüler ihr Wissen aus dem Staatsbürgerkundeunterricht der Klasse 9 darüber abrunden, daß Profitstreben und Konkurrenz zwischen den Monopolen wesentliche Triebkräfte für die Entwicklung und Nutzung von Wissenschaft und Technik im Imperialismus sind.

Es werden wichtige Anwendungen Hertzscher Wellen zusammengestellt, beschrieben, kurz erläutert und gewertet. Die Hertzschen Wellen werden als weiteres Beispiel benutzt, um den Schülern den Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Gesellschaft, der Produktion und der Wissenschaft bewußt zu machen. Am Beispiel der Informationsübertragung durch Hertzsche Wellen sollen die Schüler erkennen, daß die Physik mit ihren Anwendungen zu einer stürmischen Entwicklung der Produktivkräfte führt und Voraussetzungen für den sozialen und kulturellen Fortschritt der Menschheit schafft. Ihnen soll bewußt werden, daß es im Imperialismus außer dem militärischen Mißbrauch einen kulturellen und sozialen Mißbrauch bezüglich der Anwendung der Physik gibt: die Desinformation der eigenen Gesellschaft, die ideologische Diversion gegen die sozialistischen Länder sowie die Zerstörung kultureller und sittlicher Werte.

Bei der *Behandlung der Eigenschaften Hertzscher Wellen* werden sowohl die Kenntnisse der Schüler über die mechanischen Wellen als auch ihre Kenntnisse aus dem täglichen Leben bezüglich der geradlinigen Ausbreitung, der Durchdringungsfähigkeit und Absorption, der Reflexion und Beugung genutzt.

Hinsichtlich der Welleneigenschaften der Hertzschen Wellen werden Beugung und Interferenz als charakteristisch herausgearbeitet. Bei der Behandlung der Erzeugung Hertzscher Wellen steht der Dipol im Mittelpunkt. Er wird als geöffneter Schwingkreis betrachtet, in dem erzwungene Schwingungen erzeugt werden. Die Aufmerksamkeit der Schüler wird dabei auf das elektrische und magnetische Feld um den Sendedipol, insbesondere auf den Verlauf der Feldlinien im Raum gelenkt. Der Mechanismus der Ablösung Hertzscher Wellen vom Dipol wird nicht behandelt. Auf eine zeichnerische Darstellung Hertzscher Wellen wird weitgehend verzichtet; Bild 82/1 im Lehrbuch stellt die höchste Form der anzustrebenden Abstraktion dar. Es zeigt den Verlauf der elektrischen und magnetischen Feldlinien in der Umgebung eines schwingenden Dipols. Zur Verdeutlichung der Wirkungsweise eines Senders und Empfängers wird von den Einzelheiten der Schaltung abgesehen und das Wesentliche den Schülern in Form eines Blockschemas nahegebracht. Die Schüler werden befähigt, diese Blockschemata zu erläutern.

Die Schüler sollen insbesondere im Zusammenhang mit den praktischen Anwendungen ihre Fähigkeiten vervollkommen, das Lehrbuch zur Aneignung und Festigung des Wissens zu benutzen. Auch bei der Behandlung des Sendens und Empfangens Hertzscher Wellen sowie der Modulation und Demodulation wird ständig der Praxisbezug hergestellt.

Da auch die Betrachtungen zu den Wellenlängen- bzw. Frequenzbereichen und zum Blockschema des Senders und Empfängers sowie zum Radar unmittelbaren Praxisbezug haben, ist eine explizite Behandlung praktischer Anwendungen Hertzscher Wellen am Ende der Stoffeinheit nicht vorgesehen. Im Sinne einer *Variante* ist es jedoch auch möglich, den eingangs vorgesehenen Überblick über die Anwendung Hertzscher Wellen z. T. im Zusammenhang mit der Festigung und Systematisierung in der letzten Stunde zu vermitteln.

Zur Vervollkommnung des *mündlichen und schriftlichen Ausdrucks* werden die Schüler zum Erläutern von physikalischen Gesetzen an Beispielen und zum Erklären von physikalischen

Vorgängen und Erscheinungen sowie zum Beschreiben des Aufbaus und Erklären der Wirkungsweise technischer Anwendungen herangezogen.

Für die Gesamtanlage der Stoffeinheit können zwei *Varianten der Prozeßgestaltung* besonders empfohlen werden. In der ersten Variante beginnt die Behandlung der Hertzschen Wellen entsprechend der Stoffanordnung im Lehrplan mit einem geschichtlichen Rückblick. Ihm folgt ein Überblick über die Anwendungen Hertzscher Wellen in den verschiedenen Bereichen von Wissenschaft, Technik, Produktion und Alltag. Ausgehend von der Nachgestaltung eines der Experimente von Heinrich Hertz werden erste Aussagen über das Wesen der Hertzschen Wellen getroffen. Nachfolgend werden unter Nutzung der Kenntnisse der Schüler aus dem täglichen Leben die Eigenschaften der Hertzschen Wellen behandelt. Der Dipol wird als geöffneter Schwingkreis eingeführt und daran Senden und Empfangen Hertzscher Wellen dargestellt. Ausgehend von der Notwendigkeit der Modulation und Demodulation werden die Blockschemata von Sender und Empfänger behandelt. Diese Variante ist im Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit beschrieben.

Die Vorzüge dieses Vorgehens bestehen vor allem in einem interesseweckenden historischen Einstieg und einer Behandlung ausgehend von den Erfahrungen der Schüler, wobei von der Erscheinung zum Wesen vorgedrungen wird.

Die zweite Variante, die anspruchsvoller ist, geht vom Schwingkreis aus und führt über dessen Öffnung zum Dipol. Die Suche nach einer Möglichkeit, daß sich die Schwingungen im Raum ausbreiten, kann dabei motivierend wirken. Für die Behandlung gelten die für die thematische Einheit „Senden und Empfangen Hertzscher Wellen“ gegebenen Hinweise.

Nachfolgend werden die Eigenschaften Hertzscher Wellen entsprechend den Anregungen zu dieser thematischen Einheit behandelt. Da den Schülern jedoch der Überblick über die Anwendungen – wie für die erste Variante beschrieben – noch nicht gegeben wurde, sollten die Erfahrungen und Kenntnisse der Schüler bei der Behandlung der einzelnen Eigenschaften bereitgestellt werden.

Die Betrachtungen zur Signalübertragung und deren Anwendungen schließen sich entsprechend den Hinweisen zur thematischen Einheit „Modulation und Demodulation“ an. Der historische Rückblick ist sowohl im Zusammenhang mit der Abstrahlung der Wellen vom Dipol als auch am Schluß der Behandlung möglich. Im letzten Falle kennen die Schüler schon das Wesen der Hertzschen Wellen, so daß auf die Definition nicht mehr eingegangen zu werden braucht. Weiterhin wurden bestimmte Anwendungen schon bei den Eigenschaften Hertzscher Wellen näher betrachtet. Dadurch ist hier ein Zurückgreifen auf diese möglich.

Die in den Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten vorgeschlagenen Stundenzahlen werden auch für diese zweite Variante empfohlen.

Ein wichtiges Unterrichtsmittel ist der Mikrowellengenerator. Er ermöglicht es, alle Eigenschaften der Hertzschen Wellen einfach und überzeugend zu demonstrieren. Dabei sollte auf eine deutliche Analogie zu den experimentellen Anordnungen geachtet werden, mit denen die mechanischen Wellen untersucht wurden. Weiterhin sollte ein tragbares Rundfunkgerät Einsatz finden. Es ermöglicht u. a. Untersuchungen zur geradlinigen Ausbreitung und Durchdringungsfähigkeit bzw. Absorption Hertzscher Wellen. Dazu kann auch ein Empfangsdipol (Zimmerantenne vom Fernsehempfänger oder Aufbau aus Stativteilen) angeschlossen werden. Schließlich sollte eine experimentelle Anordnung von Heinrich Hertz nachgebildet werden. Sie zeigt das Wesen des Dipols besonders deutlich und ermöglicht auch den Bezug, daß das Wort „Funk“ von „Funken“ kommt, der bei diesen Anordnungen eine dominierende Rolle spielt. Neben der Demonstration der Modulation und Demodulation kommt schließlich dem Aufbau einer einfachen Empfängerschaltung durch die Schüler eine besondere Bedeutung zu.

Die Schüler sollen folgendes grundlegendes *Wissen und Können* erwerben:

- Eigenschaften Hertzscher Wellen und ihre Anwendung;
- Berechnen von Frequenzen bzw. Wellenlängen Hertzscher Wellen;

- Elektrisches und magnetisches Feld um einen Dipol;
- Wirkungsweise und Notwendigkeit eines Abstimmkreises;
- Prinzip der Modulation und Demodulation und Blockschema eines Senders und Empfängers;
- Blockschema eines Radargerätes.

### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierenden Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<p><i>Entdeckung und Anwendung Hertzscher Wellen, Eigenschaften Hertzscher Wellen</i>            Entdeckungsgeschichte            Anwendung Hertzscher Wellen            Hertzsche Welle als Ausbreitung einer elektromagnetischen Schwingung            Ausbreitungsgeschwindigkeit <math>c</math>            Durchdringungsfähigkeit            Brechung            Beugung            Interferenz</p> <p style="text-align: right;"><b>2 Std.</b></p>	<p>Profitstreben und Konkurrenz zwischen den Monopolen als wesentliche Triebkräfte für die Entwicklung und Nutzung von Wissenschaft und Technik im Kapitalismus (Stabü 9)</p>	<p>DE: Rundfunkempfänger            DE: Hertzscher Sender            DE: Mikrowellensender            Bilder bzw. Dias: Anwendungen Hertzscher Wellen            Schüleraufträge: SV über Frequenzbereiche Hertzscher Wellen            Wiederholung Feldlinienbilder, Verhalten von Kondensator und Spule            USF: Fliegen mit Hertz</p>
<p><i>Senden und Empfangen Hertzscher Wellen</i>            Dipol als geöffneter Schwingkreis            elektrisches und magnetisches Feld um einen Sendedipol            Empfangsdipol            Abstimmkreis            Frequenzbereiche Hertzscher Wellen</p> <p style="text-align: right;"><b>2 Std.</b></p>	<p>Feldlinienbild als Modell des elektrischen Feldes, Feldlinienbild als Modell des magnetischen Feldes, Selbstinduktion            Beeinflussung elektrisch ungeladener Körper im elektrischen Feld, elektromagnetische Induktion (Ph 9)            Resonanz</p>	<p>K-F 152: Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen vom Dipol            DE: Funktion des Abstimmkreises            Fo: Frequenzbereich Hertzscher Wellen</p>
<p><i>Modulation und Demodulation</i>            Modulation            Demodulation            Blockschemata von Sender, Empfänger und Radargerät            Rundfunkempfänger</p> <p style="text-align: right;"><b>2 Std.</b></p>	<p>Aufgaben und Einsatzbereiche der Informationselektrik (ESP 9)</p>	<p>DE: Modulation und Demodulation            DE: Demodulation in einem Empfänger            Fo: Schaltplan für Modulation und Demodulation            SE: Rundfunkempfänger</p>
<p><i>Festigung und Systematisierung</i></p> <p style="text-align: right;"><b>1 Std.</b></p>		

## *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*

### **Entdeckung und Anwendung Hertzscher Wellen, Eigenschaften Hertzscher Wellen**

2 Stunden

Die Schüler werden durch den historischen Rückblick, den Überblick über die vielfältigen Anwendungen und die große Bedeutung der Hertzschen Wellen für die gesamte Stoffeinheit motiviert. Die Kenntnisse der Schüler über die Eigenschaften mechanischer Wellen werden auf die Hertzschen Wellen übertragen. Dabei werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausgearbeitet, die das Wesen der Hertzschen Wellen charakterisieren.

#### **Ziele**

##### **Die Schüler**

- kennen die Entdeckungsgeschichte der Hertzschen Wellen;
- kennen wichtige Anwendungen Hertzscher Wellen;
- kennen Gemeinsamkeiten von mechanischen und Hertzschen Wellen;
- kennen die Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit Hertzscher Wellen  $c = \lambda \cdot f$  und können sie interpretieren;
- kennen folgende Eigenschaften Hertzscher Wellen: geradlinige Ausbreitung, Durchdringungsfähigkeit, Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz.

#### **Unterrichtsmittel**

##### **Rundfunkempfänger**

Geräte zur Nachgestaltung der historischen Anordnung von Hertz (PSE Wellenlehre, Funk-sender und Empfänger für Dezimeterwellen)

Mikrowellensender mit Zubehör

Bilder und Dias: Anwendungen Hertzscher Wellen

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

**Einführung in die Stoffeinheit.** Die Einführung und Zielorientierung kann mit einem batteriegetriebenen Rundfunkempfänger erfolgen. Durch Verändern der Lage des Empfängers und der Stellung der Antennen treten unterschiedlich gute Empfangsbedingungen auf. Damit wird auf die Hertzschen Wellen als Informationsüberträger orientiert.

**Entdeckungsgeschichte Hertzscher Wellen.** Der durch den Einsatz von Unterrichtsmitteln illustrierte Lehrvortrag zur Entdeckungsgeschichte kann entsprechend dem einführenden Abschnitt im Lehrbuch gestaltet werden. Er sollte neben dem Schildern der Entdeckung und ersten Anwendung Hertzscher Wellen sowie dem Informieren über die Anteile Maxwells, Hertz', Popows und Marconis vor allem der Würdigung der Leistungen H. Hertz' dienen, der damit ein neues Teilgebiet der Physik eröffnet und neue Bereiche der Technik ermöglicht hat. In dem Vortrag sollte neben der Beschreibung der Experimente von Hertz (PSE Historische Experimente) auch ein historisches Experiment nachgestaltet werden.

**Nachgestalten des historischen Experiments von H. Hertz.** Das Demonstrationsexperiment kann analog PSE Wellenlehre (Funksender und Empfänger für Dezimeterwellen) nach Bild 15 zusammengestellt werden. Der Funkeninduktor wird bei ausgeschaltetem Wagnerschen Hammer mit etwa 10 V Wechselspannung betrieben (Vorsicht! Hochspannung). Die Dipolstäbe von 25 cm Länge werden horizontal befestigt. Die Länge der Funkenstrecke zwischen den Stäben soll ca. 0,5 mm betragen. An den Enden des Sendedipols kann je eine Kon-

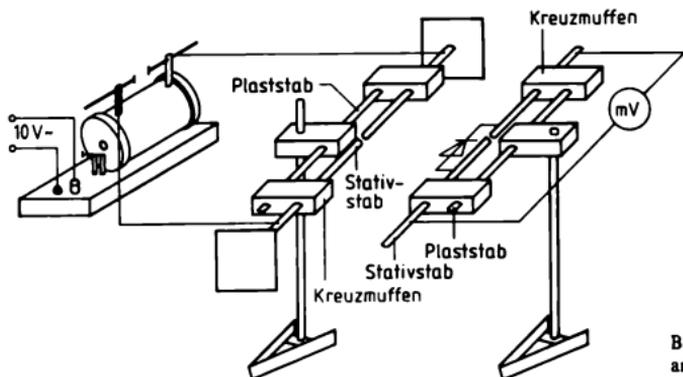


Bild 15 Experimentieranordnung

densatorplatte befestigt werden. Das erfolgt durch Einstecken in die Bohrungen der Stativstäbe. Der Empfangsdipol wird bei gleicher Stablänge ohne Kondensatorplatten zusammengestellt. Er ist in etwa 3 m Entfernung aufzustellen. Der Nachweis der mit einer Diode OA 625 gleichgerichteten Spannung erfolgt mit dem Demomeß-Universal, Meßbereich 0,3 V. Um die Störung des Funkempfangs klein zu halten, sollte der Funkeninduktor immer nur für wenige Sekunden eingeschaltet werden.

**Anwendung Hertzscher Wellen.** Die Beschreibung und Erläuterung von Anwendungen Hertzscher Wellen darf zu keinem formalen Aufzählen und Betrachten vieler Beispiele führen. Das exemplarische Behandeln muß mit einer gewissen Systematisierung einhergehen (Bild 16). Diese kann sowohl nach den Anwendungsbereichen (Industrie, Landwirtschaft,

## Entdeckung und Anwendung Hertzscher Wellen

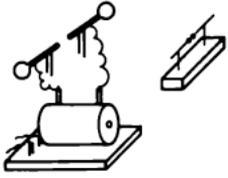
<p>Experimentelle Anordnung von Heinrich Hertz (1888)</p> 	<p><u>Anwendung Hertzscher Wellen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Informationsübertragung             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeichen</li> <li>• Sprache, Musik</li> <li>• Bilder</li> </ul> </li> <li>- Funkortung             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Richtung</li> <li>• Entfernung</li> </ul> </li> <li>- Energieübertragung</li> </ul>
--	--

Bild 16 Tafelbild zur Entdeckung und Anwendung Hertzscher Wellen

Flugsicherung, Landesverteidigung, Weltraumforschung) erfolgen als auch nach der Funktion Hertzscher Wellen, z. B. Informationsübertragung (Zeichen, Sprache, Musik, Bilder), Funkortung (Richtung, Entfernung), Energieübertragung. Dabei sollen bewußt mehrere Aspekte in den Vordergrund gerückt werden. Folgende sind besonders wichtig:

- Die Vielfalt der Anwendungen (auch infolge des großen Wellenlängenbereichs). Diesbezüglich kann bereits eine gewisse Systematisierung vorbereitet werden.

- Die Bedeutung für den technischen Fortschritt.
- Die Bedeutung für den kulturellen und sozialen Fortschritt.

Darüber hinaus sollen Vorleistungen für die Behandlung der Eigenschaften Hertzscher Wellen geschaffen werden. Ausgehend vom Wissen und den Erfahrungen der Schüler ist bei den Beschreibungen und Erläuterungen einzelner Beispiele auf solche Erscheinungen Wert zu legen, die auf die geradlinige Ausbreitung, Durchdringungsfähigkeit, Absorption, Reflexion und Beugung hindeuten. Diese Eigenschaften werden noch nicht explizit herausgearbeitet.

**Wesen Hertzscher Wellen.** Ausgehend vom Demonstrationsexperiment erfolgt eine Übertragung der Definition einer mechanischen Welle auf die Hertzsche Welle. Sie wird als Ausbreitung einer elektromagnetischen Schwingung im Raum gekennzeichnet. Bei der Behandlung des Dipols wird tiefer auf das Wesen Hertzscher Wellen eingegangen.

Es kann ein Schülervortrag über die Frequenzbereiche Hertzscher Wellen vergeben werden.

**Gemeinsamkeiten von mechanischen und Hertzchen Wellen.** Die Erarbeitung der Gemeinsamkeiten ermöglicht in besonders starkem Maße die aktive Einbeziehung der Schüler. Folgende Tätigkeiten können sie selbständig bzw. unter Anleitung durch den Lehrer ausführen:

- Nennen und Erläutern der Eigenschaften mechanischer Wellen;
- Übertragen der Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit mechanischer Wellen auf Hertzche Wellen;
- Interpretieren der Gleichung  $c = \lambda \cdot f$ .

**Eigenschaften Hertzscher Wellen.** Ausgehend von den Vorkenntnissen und Erfahrungen können die Schüler die Reflexion Hertzscher Wellen vermuten. Neben den Hinweisen auf die vielfältige technische Nutzung durch verschiedenartige Reflektoren wird auf die Reflexion Hertzscher Wellen an der Ionosphäre und der Erdoberfläche und deren Bedeutung für die Übertragung Hertzscher Wellen über große Entfernungen hingewiesen.

Bei der Behandlung der Brechung kann darauf hingewiesen werden, daß in der Stoffeinhheit „Strahlenoptik“ die quantitative Formulierung des Brechungsgesetzes erfolgt.

Beugung und Interferenz werden als Beleg für den Wellencharakter einer Erscheinung gewertet. Es wird besonders die große praktische Bedeutung der Beugung für die drahtlose Nachrichtenübermittlung über große Entfernungen herausgearbeitet.

**Unterrichtsmittel und Experimente.** Die Eigenschaften Hertzscher Wellen können mit Hilfe von Demonstrationsexperimenten erarbeitet werden (PSE Wellenlehre, geradlinige Ausbreitung, Durchdringungsfähigkeit, Reflexion, Brechung, Interferenz). Die Beugung an der Kante einer Metallblende kann nach LBA 79/3 demonstriert werden.

Die Beugung wird getrennt von der Interferenz nachgewiesen. Zunächst wird darauf orientiert, daß die Hertzchen Wellen hinter einer Metallkante auch an Stellen nachgewiesen werden können, an die sie infolge der geradlinigen Ausbreitung nicht gelangen dürften. In Analogie zu den mechanischen Wellen wird die Interferenz am Doppelspalt untersucht.

Die Schüler können in starkem Maße in die Vorbereitung und Auswertung der Experimente einbezogen werden. Sie planen den Aufbau bzw. erläutern ihn und formulieren und deuten die Beobachtungsergebnisse.

**Unterrichtssendung des Fernsehens.** Die Unterrichtssendung des Fernsehens „Fliegen mit Hertz“ ist sehr gut geeignet, den Schülern die Eigenschaften Hertzscher Wellen praxisnah zu vermitteln. Der Überblick über die Anwendung Hertzscher Wellen ist auf die Sendung abzustimmen. Die Sendung eignet sich auch sehr gut zur Wiederholung und kann in der letzten thematischen Einheit der Hertzchen Wellen eingesetzt werden.

**Anwendungsaufgaben und Schüleraufträge.** Die Berechnung von Frequenz bzw. Wellenlänge von Hertzischen Wellen kann durch Lösen der Aufgaben 3 und 5 (LB, S. 77) in Anlehnung an ein Beispiel erfolgen. Weitere Aufgaben sollten in den folgenden Unterrichtsstunden vor allem im Zusammenhang mit den Frequenz- bzw. Wellenlängenbereichen gelöst werden.

In Vorbereitung auf die folgende thematische Einheit wiederholen alle Schüler die Feldlinienbilder elektrischer und magnetischer Felder und das Verhalten von Kondensator und Spule im Gleich- und Wechselstromkreis.

Ein Schülervortrag über die Frequenzbereiche Hertzischer Wellen sollte vorbereitet werden.

## **Senden und Empfangen Hertzischer Wellen**

2 Stunden

In dieser thematischen Einheit erfolgt die Behandlung des Dipols, der von den Schülern als geöffneter Schwingkreis verstanden werden soll. Er kann zu Eigenschwingungen (Sendedipol) und zu erzwungenen Schwingungen (Empfangsdipol) angeregt werden. Die Betrachtungen zu den Feldern um den schwingenden Dipol dienen der weiteren Charakterisierung des Wesens Hertzischer Wellen.

### **Ziele**

#### **Die Schüler**

- kennen die Gemeinsamkeiten von Dipol und Schwingkreis;
- können das elektrische und das magnetische Feld um einen Dipol beschreiben;
- wissen, daß ein schwingender Dipol Hertzische Wellen aussendet;
- wissen, daß eine Hertzische Welle die Ausbreitung einer elektromagnetischen Schwingung im Raum ist;
- wissen, daß der Empfangsdipol durch Hertzische Wellen zu erzwungenen elektromagnetischen Schwingungen angeregt werden kann;
- kennen die Funktion des Abstimmkreises und können seine Wirkungsweise erklären;
- kennen die Frequenzbereiche Hertzischer Wellen und einige Besonderheiten;
- können Frequenzen bzw. Wellenlängen von Sendern berechnen.

### **Unterrichtsmittel**

Geräte gemäß PSE Wellenlehre (Funksender und Empfänger für Dezimeterwellen)

K-F 152: Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen vom Dipol

SEG Halbleiter-Hochfrequenz

Lautsprecher

Demonstrationsoszillograph

Fo: Frequenzbereiche Hertzischer Wellen

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

**Festigung der Eigenschaften Hertzischer Wellen.** In Vorbereitung auf die Betrachtungen zu den Wellenlängenbereichen Hertzischer Wellen, auf die Anwendung Hertzischer Wellen beim Radar sowie auf die Behandlung der Wellenoptik ist vor allem eine Festigung und Vertiefung der in der vorangegangenen thematischen Einheit behandelten Eigenschaften Hertzischer Wellen erforderlich. Sie sollte an geeigneten Stellen explizit und immanent erfolgen.

**Dipol als geöffneter Schwingkreis.** Die Kenntnisse der Schüler über die Eigenschaften von Kondensator und Spule werden gefestigt und erweitert. Beim Öffnen des Schwingkreises

wird hervorgehoben, daß es sich dabei um ein gedankliches Vorgehen handelt. Auf die Erhöhung der Frequenz infolge der schrittweisen Verringerung von Kapazität und Induktivität ist hinzuweisen, bzw. es ist auf die großen Abmessungen von Langwellenantennen zu orientieren, die zur Bereitstellung einer großen Kapazität dienen. Bei dem Zeichnen der Feldlinienbilder sind die durch die Hausaufgabe bereitgestellten Vorkenntnisse der Schüler bewußt zu nutzen.

Als Gemeinsamkeiten von Dipol und Schwingkreis sind besonders die periodische Bewegung der Elektronen und das zeitlich verschobene Auftreten des elektrischen und magnetischen Feldes hervorzuheben.

**Empfangsdipol.** Ausgehend von den Vorgängen bei mechanischen Schwingern gelangen die Schüler zu der Erkenntnis, daß die Eigenfrequenz des Empfangsdipols in der Nähe der Resonanzfrequenz liegen muß, wenn erzwungene Schwingungen großer Amplitude (günstige Empfangsbedingungen) vorliegen sollen. Den Schülern wird mitgeteilt, daß das zutrifft, wenn die Länge des Empfangsdipols bei  $\lambda/2$  liegt. Diese Aussage kann unter Abschätzen der Länge eines Empfangsdipols für Fernsehsendungen und Berechnen von  $\lambda/2$  aus der Senderfrequenz bestätigt werden.

Die Erläuterung von Beispielen für die Nutzung der verschiedenen Frequenzbereiche wird mit Betrachtungen zu den Abmessungen und zur Lage der Empfangsantenne gekoppelt. Dadurch werden die Schüler in die Lage versetzt, durch Betrachten von Empfangsantennen Vermutungen über die genutzten Frequenzbereiche zu treffen.

**Wirkungsweise des Abstimmkreises.** Die Notwendigkeit der Auswahl eines Senders aus der Vielzahl der von der Antenne aufgenommenen Schwingungen wird als Problem formuliert. Durch Aufbereitung ihrer Kenntnisse werden die Schüler zur Lösung dieses Problems befähigt. Dabei muß auch der Bereitstellung der Kenntnisse über Eigenschwingungen und erzwungene Schwingungen, vor allem aber der Resonanz Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Bestätigung erfolgt im Experiment, indem der Oszillograph parallel zum Abstimmkreis geschaltet wird.

**Unterrichtsmittel.** Die Ablösung der elektromagnetischen Schwingungen sollte wiederholend mit der bereits eingesetzten historischen Anordnung von Hertz erfolgen. Dafür ist auch der Mikrowellengenerator prinzipiell geeignet, jedoch weniger anschaulich. Die Aufmerksamkeit wird zunächst auf das Senden, später auf den Empfang durch den zweiten Dipol gerichtet.

Der Kassettenfilm kann zur Festigung und im Sinne eines Ausblicks eingesetzt werden. Auf den Vorgang der Ablösung elektromagnetischer Felder wird lediglich verwiesen.

## **Modulation und Demodulation**

2 Stunden

In dieser thematischen Einheit sollen die Schüler die Notwendigkeit der Modulation und Demodulation zur Übertragung von Sprache erkennen und den Empfang von Rundfunkwellen und das Hörbarmachen der Sprachfrequenz mit einfachsten Mitteln selbst vollziehen und erleben. Die wesentlichsten Informationen werden dabei in Form von Blockschemata übersichtlich dargestellt.

### **Ziele**

#### **Die Schüler**

- wissen, daß zur Informationsübertragung Modulation und Demodulation Hertzscher Wellen erforderlich sind;
- können das Prinzip der Modulation und Demodulation erläutern;
- kennen das Blockschema von Sender, Empfänger und Radargerät;
- können einen einfachen Rundfunkempfänger nach Schaltplan aufbauen.

SEG Elektrik  
SEG Halbleiter-Hochfrequenz  
Universalgenerator UVG 2  
Demonstrationsoszillograph  
Entsprechend der Anzahl der Schülergruppen:  
SEG Halbleiter-Hochfrequenz  
Stromversorgungsgerät für SEG  
Kopfhörer  
Verbindungsleiter

Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Modulation und Demodulation.** Die Aufgabe, mit verschiedenen Hertzischen Wellen gleichzeitig viele Informationen zu übertragen, kann als Problem formuliert werden. Als Anregung zur Lösung des Problems wird den Schülern das Oszillographenbild von empfangenen Mittelwellen gezeigt. Dazu wird der auf den Tonfrequenzbereich eingestellte Oszillograph parallel zum Abstimmkreis geschaltet (Bild 17, Abgriffe A, B).

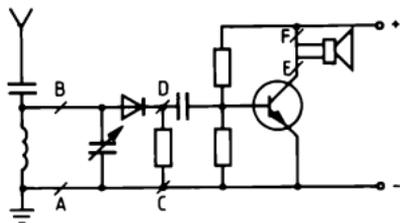


Bild 17 Schaltplan

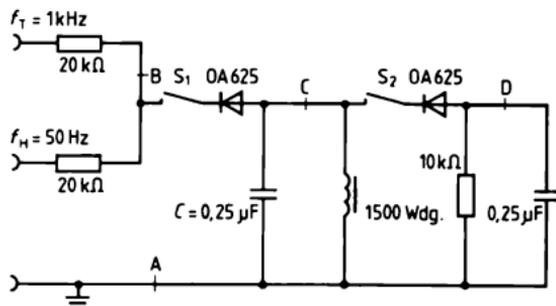
Zur Demonstration der Amplitudenmodulation kann die Schaltung gemäß Bild 18 Einsatz finden. Als Spannungsquellen dienen der UVG 2 und das Stromversorgungsgerät für SEG (jeweils ca. 6 V). Zunächst wird nur der UVG 2 eingeschaltet. Die Frequenz der Sinusschwingung wird so lange verändert, bis Resonanz mit dem Schwingkreis vorliegt. Unter dieser Bedingung erreicht die Amplitude der Schwingung auf dem Oszillographenschirm ein Maximum. Die Kippfrequenz soll auf etwa 20 Hz eingestellt sein. Danach wird allein das Stromversorgungsgerät für SEG eingeschaltet. Schließlich wird durch Hinzuschalten des UVG 2 die modulierte Schwingung demonstriert.

Auf die Frequenzmodulation als weitere Form der Modulation kann durch Zeichnen eines entsprechenden  $y-t$ -Diagramms hingewiesen werden.

Auf den Unterschied von Überlagerung und Modulation wird nicht eingegangen.

Zur Demonstration der Demodulation wird der Schalter  $S_1$  geschlossen und die Spannung an den Meßpunkten A, C abgegriffen. Hier erscheint zunächst das Bild der gleichgerichteten modulierten Schwingung. Nach dem Schließen des Schalters  $S_2$  tritt schließlich das Bild der demodulierten Schwingung auf. In analoger Weise kann auch bei der Empfängerschaltung die gleichgerichtete Hochfrequenzschwingung demonstriert werden (Abgriffe A, C).

## Einfache Schaltung zur Modulation und Demodulation



Meßpunkte A, B, Schalter  $S_1$  geöffnet: überlagerte Signale

Meßpunkte A, C, Schalter  $S_1$  geschlossen,  $S_2$  geöffnet:  
modulierte Signale

Meßpunkte A, D, Schalter  $S_1$  und  $S_2$  geschlossen:  
demodulierte Signale

Bild 18 Tafelbild  
zur Modulation und  
Demodulation

**Blockschemata von Sender, Empfänger und Radargerät.** Die Entwicklung der Blockschemata von Sender und Empfänger kann mit der Wiederholung von Modulation und Demodulation verbunden werden. Das Blockschema vom Sender gibt der Lehrer vor, für den Empfänger können es die Schüler selbst entwickeln.

Das Prinzip des Radar wird am Beispiel behandelt. Dabei wird gleichzeitig das Blockschema erarbeitet. Als Hausaufgabe übertragen die Schüler das Prinzip auf ein anderes Beispiel. Hierzu sollten ihnen Literaturhinweise gegeben werden (z. B. Brockhaus: ABC Naturwissenschaft und Technik).

**Aufbau einer einfachen Empfängerschaltung.** Mit diesem Schülerexperiment werden folgende Ziele verfolgt:

- Die Schüler sollen erleben, wie der Empfang von Rundfunkwellen, die Demodulation und Verstärkung der Schwingungen mit einfachsten Mitteln möglich ist;
- sie sollen mit dieser für sie anspruchsvollen Schaltung ihr Können im Schalten elektrischer Bauelemente weiter vervollkommen;
- ihr Interesse an der Physik und Technik soll weiterentwickelt werden.

Leistungsstärkere Schüler arbeiten nach der komplizierteren Empfängerschaltung (LBA 86/2).

Wenn der Ortssender nicht hinreichend stark ist, sollte der Einsatz eines verdeckten Antennenverstärkers erwogen werden. In allen Fällen ist auf eine gute Hochantenne und sichere Erdung zu achten.

Die nicht in ausreichender Anzahl vorhandenen Kopfhörer können zwischen den Schülergruppen ausgetauscht bzw. teilweise durch Kleinlautsprecher ersetzt werden.

**Festigung und Kontrolle.** Die Hausaufgabe sollte in Vorbereitung einer Wiederholung und Leistungskontrolle besonders gut akzentuiert werden. Ausgehend von den formulierten

Stundenzielen sollten den Schülern Schwerpunkte genannt werden. Orientierungen dazu können den in der folgenden thematischen Einheit zusammengestellten Aufgaben entnommen werden.

## **Festigung und Systematisierung**

1 Stunde

**Schriftliche Leistungskontrolle.** Aus den folgenden Aufgaben, die sich auch auf die Stoffeinheit „Schwingkreis“ beziehen, sollte eine Auswahl getroffen werden:

### **I Schwingkreis**

1. Beschreiben Sie den Aufbau und erklären Sie die Wirkungsweise eines Schwingkreises!
2. Interpretieren Sie die Thomsonsche Schwingungsgleichung!
3. Nennen und erläutern Sie je ein Beispiel für die Anwendung elektromagnetischer Schwingungen in Produktion und Medizin!

### **II Entdeckung und Eigenschaften Hertzscher Wellen**

4. Schildern Sie in wenigen Sätzen die Entdeckungsgeschichte der Hertzschen Wellen!
5. Geben Sie wichtige Eigenschaften Hertzscher Wellen an, und nennen und erläutern Sie je ein Beispiel für die bewußte Nutzung zweier Eigenschaften!
6. Vergleichen Sie mechanische und Hertzsche Wellen bezüglich ihrer Entstehung und ihrer Eigenschaften!
7. Stellen Sie dar, wie man sich einen Dipol aus einem Schwingkreis entstanden denken kann!

### **III Anwendung Hertzscher Wellen**

8. Ein Radargerät arbeitet mit einer Frequenz von 4 500 MHz. Wie lang ist der Dipol?
9. Ein Sender strahlt sein Programm mit einer Frequenz von 628 kHz aus. Wie groß ist seine Wellenlänge?
10. Erläutern Sie die Notwendigkeit und die Wirkungsweise eines Abstimmkreises!
11. Begründen Sie die Notwendigkeit der Modulation und erläutern Sie die Amplitudenmodulation!
12. Zeichnen Sie das  $y$ - $t$ -Diagramm einer modulierten und einer demodulierten Schwingung!
13. Zeichnen Sie das Blockschema eines Empfängers!
14. Geben Sie einen Überblick über die praktische Nutzung Hertzscher Wellen!

**Wiederholung und Systematisierung.** Anstelle der schriftlichen Leistungskontrolle kann auch eine mündliche Wiederholung mit schriftlicher Kurzkontrolle durchgeführt werden. Folgende Gestaltungselemente werden empfohlen:

- Aufgreifen eines aktuellen Beispiels für die Anwendung Hertzscher Wellen, Erläuterung und Diskussion ausgehend von einer Zeitungsnotiz, einem Artikel in einer populärwissenschaftlichen Zeitschrift mit Abbildungen o. ä.;
- Herausarbeiten der physikalischen Grundlagen zur Erzeugung Hertzscher Wellen: Vorgänge im Schwingkreis, Vorgänge im Sendedipol, Vorgänge im Empfangsdipol, Vorgänge im Abstimmkreis, Gemeinsamkeiten aller Vorgänge;
- Beschreiben und Erklären der Ausbreitung einer mechanischen Welle beim Wellengerät nach Julius. Diskussion der Gemeinsamkeiten und Unterschiede mechanischer und Hertzscher Wellen;
- Schriftliche Kurzkontrolle, in der u. a. gemäß Aufgabe 8 oder 9 eine Berechnung, die Darstellung eines Blockschemas und das Nennen und Erläutern von Anwendungen (Aufgabe 3 oder 14) gefordert werden.

## Stoffeinheit Strahlenoptik

5 Stunden

*Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen die *Wiederholung des Reflexionsgesetzes und die Entstehung reeller Bilder an Sammellinsen sowie die Vertiefung des Brechungsgesetzes durch seine mathematische Formulierung*. Es werden solche Kenntnisse aus der Optik gefestigt, vertieft und erweitert, die mit dem Modell Lichtstrahl beschrieben werden können. Im Mittelpunkt der Befähigung der Schüler zur Anwendung wissenschaftlicher Denk- und Arbeitsmethoden stehen die Anwendung von Modellen zum Beschreiben von Vorgängen, die Anwendung der Mathematik für die Auswertung von Meßergebnissen und der Einsatz des Experiments zum Bestätigen von Voraussagen. Geschichtliche Betrachtungen fördern das Verständnis der Schüler für die historische Entwicklung physikalischer Erkenntnisse. Die Schüler gewinnen die Einsicht, daß durch die Weiterentwicklung der Vorstellungen vom Licht viele Vorgänge und Erscheinungen in Natur und Technik erklärbar werden. Eine Festigung der reaktivierten und neu erarbeiteten Inhalte zur Strahlenoptik erfolgt auch dadurch, daß sie auf Vorgänge und Erscheinungen angewendet werden, die in der Erfahrungswelt der Schüler liegen. Das betrifft beispielsweise die scheinbare Anhebung eines Gewässergrundes, die Entstehung eines Regenbogens und die Bildentstehung bei einem Fotoapparat. Daraus ergeben sich wirksame Möglichkeiten zur weiteren Förderung des Interesses der Schüler an der Physik und zur Entwicklung der Freude am selbständigen Erkennen von physikalischen Zusammenhängen. Bei der Gestaltung des Unterrichts in der Stoffeinheit ist der Tatsache Rechnung zu tragen, daß ein großer zeitlicher Abstand zur Behandlung der Optik in Klasse 6 besteht. Deshalb ist der Einsatz von Lehrbuch und „Physik in Übersichten“ bei der Reaktivierung des Wissens und Könnens wichtig.

Der *historische Überblick* zu Beginn der Stoffeinheit Strahlenoptik soll die Schüler u. a. darauf orientieren, daß verschiedene Modelle bzw. Vorstellungen vom Licht geschaffen und zeitweilig von vielen Physikern anerkannt wurden. Die seit Klasse 6 von den Schülern erworbenen Kenntnisse gestatten es, den Lichtstrahl nicht nur als geometrisches Hilfsmittel zu betrachten, sondern auch als Modell.

Das höhere Niveau bei der Behandlung des Brechungsgesetzes in Klasse 10 besteht u. a. darin, daß es in der Form  $\sin \alpha : \sin \beta = c_1 : c_2$  mathematisch und allgemeiner als in Klasse 6 formuliert wird. Dazu ist es notwendig, die verschiedenen Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Lichtes in lichtdurchlässigen Stoffen zu betrachten.

In der ersten thematischen Einheit wird das Brechungsgesetz beim Voraussagen und Er-

klären von Strahlenverläufen sowie beim Berechnen von Einfallswinkel- und Brechungswinkeln angewendet. In der zweiten thematischen Einheit erfolgt die Behandlung der Totalreflexion. Beim Bestätigen eines berechneten Grenzwinkels im Schülerexperiment festigen die Schüler erneut ihr Wissen über die Brechung und die Totalreflexion bzw. ihr experimentelles Können. Die Kenntnisse über die Totalreflexion bilden die Grundlage für die Erklärung des interessanten Naturphänomens eines Regenbogens und des ständig an Bedeutung gewinnenden Lichtleitkabels. Anschließend, in der dritten thematischen Einheit, erfolgt zunächst die Behandlung der Brechung an Prismen mit dem Ziel, eine erneute Festigung der Kenntnisse über das Brechungsgesetz zu ermöglichen und einen günstigen Übergang zur phänomenologischen Behandlung der Farbzerlegung weißen Lichtes bei Brechung zu erreichen. Damit wird die spätere Verwendung annähernd einfarbigen Lichtes sachlogisch und im Hinblick auf Faßlichkeit vorbereitet. Die Behandlung des Strahlenverlaufs und der Entstehung reeller Bilder an Sammellinsen erfolgt in stark selektiver und konzentrierter Form. Die Anwendung der Kenntnisse erfolgt beim Fotoapparat. Dabei ist eine gute Möglichkeit gegeben, Vorleistungen der Schüler über die Bildentstehung an optischen Geräten aus den Fächern Biologie und Astronomie zu nutzen. Das technisch-funktionale Denken der Schüler wird dabei erneut geschult.

Hinsichtlich des Überblicks über die Entwicklung der Vorstellungen vom Licht sind in engem Zusammenhang mit dem Modell Lichtstrahl und den Grenzen seiner Anwendbarkeit mehrere Varianten möglich, die das gesamte Stoffgebiet Optik betreffen. Eine Variante orientiert sich unmittelbar an der Gliederung des Lehrplans. Sie zeichnet sich durch ein besonders hohes Maß an Systematik aus. Der Modellcharakter des Lichtstrahls kann jedoch auch unmittelbar im Zusammenhang mit der Behandlung des Reflexionsgesetzes herausgearbeitet werden. Dabei ergibt sich ein besonders guter experimenteller Zugang. Eine Vertiefung kann dann bei der Markierung der Grenzen der Anwendbarkeit dieses Modells erfolgen. Wird der Überblick über die Vorstellungen vom Licht zu Beginn des Stoffgebietes gegeben, so motiviert er in starkem Maße. Es können aber Schwierigkeiten auftreten, bei allen Schülern das volle Verständnis zu erreichen. Deshalb liegt es nahe, zunächst die Aspekte in den Vordergrund zu rücken, zu deren Verständnis die Schüler die notwendigen Voraussetzungen besitzen. In der Stoffeinheit Wellenoptik kann dann im Zusammenhang mit den Welleneigenschaften des Lichtes und den Grenzen des Modells Lichtstrahl der historische Überblick vervollständigt werden. Es ist auch möglich, ihn ganz an diese Stelle zu verlagern.

Die Schüler sollen folgendes grundlegendes *Wissen und Können* erwerben:

- Reflexionsgesetz und Brechungsgesetz;
- Anwenden des Reflexions- und Brechungsgesetzes beim zeichnerischen Lösen von Aufgaben;
- Berechnen von Brechungs- und Einfallswinkeln;
- Totalreflexion und ihre Anwendung im Lichtleitkabel;
- Zeichnen des Strahlenverlaufs für die Entstehung reeller Bilder an Sammellinsen;
- Aufbau und Wirkungsweise eines Fotoapparates.

## Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivieren- des Wissen	Experimente, besondere Unter- richtsmittel, Schüleraufträge
<p><i>Reflexion und Brechung des Lichtes</i> Vorstellungen über das Licht Modell Lichtstrahl Reflexionsgesetz Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Fizeau Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien Brechungsgesetz</p> <p style="text-align: right;"><b>2 Std.</b></p>	<p>Lichtstrahl als geometrisches Hilfsmittel, geradlinige Ausbreitung des Lichtes, Reflexion von Licht und Wärmestrahlung Brechung des Lichtes (Ph 6) Modellbegriff (Ph 8, 9, Ch 9) Erarbeitung, Formulierung und Anwendung von Gesetzen (Ph 8)</p>	<p>DE: Reelles Bild eines Gitters DE: Farbzerlegung bei Interferenz am Gitter DE: Reflexion des Lichtes DE: Brechung des Lichtes SE: Messen von Einfall- und Brechungswinkeln</p>
<p><i>Totalreflexion</i> Totalreflexion und Grenzwinkel Anwendung im Lichtleitkabel</p> <p style="text-align: right;"><b>1 Std.</b></p>		<p>Lichtleitkabel DE: Lichtausbreitung in einem Gummischlauch bzw. in einem Lichtleitkabel DE: Brechung und Totalreflexion SE: Bestätigung eines berechneten Grenzwinkels</p>
<p><i>Brechung an Prismen und Sammellinsen</i> zweimalige Brechung am Prisma Strahlenverlauf und Entstehung reeller Bilder an Sammellinsen Aufbau und Wirkungsweise eines Fotoapparates, Entfernungseinstellung beim Fotoapparat Kontrolle</p> <p style="text-align: right;"><b>2 Std.</b></p>	<p>Brechung am Prisma Brechung und Entstehung wirklicher Bilder an Sammellinsen, Optische Geräte (Ph 6) Bildentstehung an optischen Geräten (Ph 6) Fotografie in der astronomischen Forschung (A 10)</p>	<p>DE: Brechung am Prisma DE: Farbzerlegung weißen Lichtes durch ein Prisma DE: Strahlenverlauf an der Sammellinse DE: Entstehung reeller Bilder an der Sammellinse Fotoapparat DE: Bildentstehung und Entfernungseinstellung beim Fotoapparat</p>

## Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten

### Reflexion und Brechung des Lichtes

2 Stunden

Zu Beginn der Stoffeinheit ist eine gründliche und rationelle Reaktivierung des in Klasse 6 erworbenen Wissens über die Ausbreitung des Lichtes und das Reflexions- und Brechungsgesetz erforderlich. Die Befähigung der Schüler zum Bestätigen, Formulieren und Anwenden beider Gesetze (unter besonderer Berücksichtigung der quantitativen Formulierung des Brechungsgesetzes) ist ein wesentlicher Schwerpunkt.

## Ziele

### Die Schüler

- kennen das Modell Lichtstrahl;
- wissen, daß die Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien unterschiedlich ist;
- kennen das Prinzip der Lichtgeschwindigkeitsmessung nach der Methode von Fizeau;
- kennen das Reflexions- und das Brechungsgesetz für Licht;
- können das Brechungsgesetz beim Lösen von Aufgaben anwenden.

### Unterrichtsmittel

Diaprojektor,

Gitter 10 ( $b = 0,1 \text{ mm}$ )

Spalt 0,2 mm

Haftoptik,

SEG Optik

Fo oder/und AB: Strahlenverläufe bei Reflexion und Brechung

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung in die Stoffeinheit.** Die Einführung kann anhand kurzer historischer Betrachtungen wie im Lehrbuch erfolgen. Betont werden sollte dabei, daß neben der Untersuchung der Erscheinungen zur Lichtausbreitung oft auch die Frage nach weiteren Eigenschaften des Lichtes beantwortet werden muß, um Beobachtungsergebnisse voraussagen oder erklären zu können. Um diese Feststellung zu erläutern und zur Langzeitmotivation werden zu lassen, kann folgende Problemsituation für die Schüler geschaffen werden, ohne daß das Problem in dieser Stunde gelöst wird: Im Demonstrationsexperiment wird gezeigt, daß das Bild des Gitters aus einer Reihe dicht nebeneinander liegender schwarzer Striche besteht und daß dieses System schwarzer Striche bei davorgehaltenem Spalt (DE 2) ein völlig anderes, ein farbiges Bild ergibt (PhIS 7/8, 1983, S. 298). Den Schülern wird mitgeteilt, daß dieses überraschende Ergebnis im Stoffgebiet Optik erklärt wird. Zur Sicherung des Ausgangsniveaus kann den Schülern der Auftrag erteilt werden: „Nennen Sie Erscheinungen, die mit der geradlinigen Ausbreitung des Lichtes im einheitlichen Stoff beschrieben werden können!“ Reaktiviert werden sollen die Kenntnisse über die Schattenbildung.

**Lichtstrahl als Modell.** Bei der Betrachtung des Lichtstrahls als Modell ist in konsequenter Weiterführung der Konzeption zur Behandlung der Optik in Klasse 6 immer wieder vom realen Lichtbündel auszugehen. Wenn man den Lichtstrahl als „Ersatzobjekt“ charakterisiert, wird die Trennung von Realitäts- und Modellebene unterstützt. Dazu geeignet ist auch die Aufgabe 2 (LB, S. 93). In Vorbereitung der später folgenden Diskussion zu den Grenzen des Modells Lichtstrahl läßt sich unter Nutzung der Aufgabe 1 (LB, S. 93) das Wissen über die Anwendbarkeit einiger Modelle im allgemeinen und des Modells Lichtstrahl im besonderen festigen.

**Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach der Methode von Fizeau.** Aus der Angabe der Lichtgeschwindigkeit werden die experimentell-technischen Schwierigkeiten für die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit bei relativ kurzen Wegen auf der Erde abgeleitet. Das Lehrbuch sollte zum selbständigen Wissenserwerb durch die Schüler eingesetzt werden. Die Aufgabe 3 (LB, S. 93) sollte nur leistungsstarken und interessierten Schülern gestellt werden.

Die Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Medien kann mit Hilfe des Tafelwerkes behandelt werden.

**Reflexionsgesetz.** Einfache praktische Beispiele können Ausgangspunkt der Wiederholung des Reflexionsgesetzes sein. Einbezogen in diese Beispiele sollte den Schülern das Re-

## Reflexion und Brechung des Lichtes

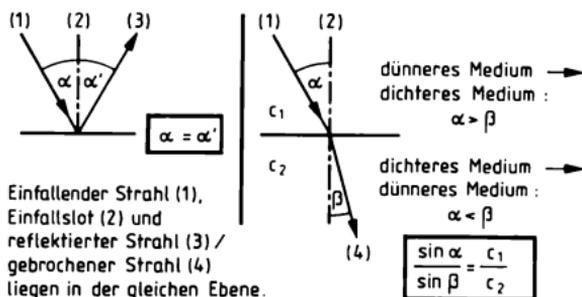


Bild 19 Tafelbild zur Reflexion und Brechung des Lichtes

flexionsgesetz überzeugend demonstriert werden. Dabei werden die wesentlichen Begriffe wiederholt, die zur Formulierung des Reflexionsgesetzes erforderlich sind. Damit werden gleichzeitig Vorleistungen für das nachfolgend zu behandelnde Brechungsgesetz geschaffen. Eine mit dem Experiment übereinstimmende Tafelskizze sollte diese Begriffe enthalten (Bild 19). Der Verlauf der Lichtbündel kann auf der Tafel verfolgt und mit Kreide nachgezogen werden. Damit wird erneut die Trennung von Realität und Modell festigt.

Die Demonstration des 2. Teils des Reflexionsgesetzes (Lagebeziehung) kann problemhaft vorbereitet werden, wenn man mit 3 Stäben oder mit Haftleuchte, Spiegel und klappbarer Eisenblechtafel veranschaulicht, daß aus  $\alpha = \alpha'$  nicht zwingend folgt, daß einfallender Strahl, reflektierter Strahl und Einfallslot in einer Ebene liegen. Zur überzeugenden Demonstration der genannten Lagebeziehung analog PSE Strahlenoptik (Demonstration der Lage von einfallendem und reflektiertem Strahl bei der Reflexion am ebenen Spiegel) kann man die Spaltöffnung der Leuchte so in der Höhe (z. B. durch Zukleben mit Isolierband) verringern, daß das Lichtbündel nahezu nur noch in der Eisenblechebene verläuft.

Die Schüler sollten das Gesetz möglichst selbständig und sorgfältig in seinen beiden Teilen formulieren. Nachfolgend sollten weitere Beispiele zur Nutzung des Reflexionsgesetzes genannt, beschrieben und erläutert werden.

**Brechungsgesetz.** Zunächst sollten die Begriffe optisch dünneres Medium und optisch dichteres Medium eingeführt werden.

Wie beim Reflexionsgesetz kommt einem einführenden Demonstrationsexperiment, ausgehend von Beobachtungen im täglichen Leben, eine große Bedeutung zu. Das weitere Vorgehen kann analog dem beim Reflexionsgesetz erfolgen; die Umkehrung des Lichtweges ist einzubeziehen. Bei der Demonstration der Lagebeziehung mit Haftleuchte, klappbarer Eisenblechtafel und Halbrundkörper ist darauf zu achten, daß Totalreflexion an der ebenen Grenzfläche, an Grund- und Deckfläche vermieden wird. Durch die Formulierung „Tritt Licht ... über“ wird die Totalreflexion zunächst nicht mit einbegriffen. Zur Festigung der Begriffe optisch dichteres Medium und optisch dünneres Medium und der qualitativen Form des Brechungsgesetzes eignen sich die Aufgaben 1 bis 4 (LB, S. 95).

**Mathematische Formulierung des Brechungsgesetzes.** Das Brechungsgesetz  $\sin \alpha : \sin \beta = c_1 : c_2$  kann vorgegeben (Bild 19) und experimentell bestätigt werden. Varianten zur Vertiefung des Brechungsgesetzes durch mathematische Formulierung sind in PhiS 4/87, S. 131 ff. dargestellt. Wenn sich der Lehrer entscheidet, ein Schülerexperiment einzusetzen, werden gute Voraussetzungen für das Schülerexperiment zur Bestätigung eines berechneten

Grenzwinkels geschaffen. Der Nachweis, daß für den Übergang vom optisch dichteren Medium ins optisch dünnere Medium ebenfalls die mathematische Formulierung des Brechungsgesetzes gilt, kann in der Hausaufgabe geführt werden, wenn die Schüler auch für diesen Übergang Meßwerte erhalten. Das Brechungsgesetz wird bei entsprechenden Berechnungen angewendet. So kann zum Beispiel der gesuchte Winkel aus Aufgabe 1 (LB, S. 97) berechnet werden. Das Ergebnis kann im Experiment zuvor ermittelt oder danach bestätigt werden. Zur Vorbereitung der Berechnung von Grenzwinkeln der Totalreflexion sollten auch Einfallswinkel berechnet werden. Leistungsstarken Schülern kann die Aufgabe gestellt werden: „Wie läßt sich mit Hilfe eines Experiments die Lichtgeschwindigkeit in Piacryl ermitteln?“ (Halbrundkörper aus der Haftoptik zeigen.) Mit der Erklärung des Zustandekommens der scheinbaren Hebung einer Münze ist gleichzeitig eine Möglichkeit gegeben, bekanntes Wissen anzuwenden bzw. zu kontrollieren. Die Schüler sollten angeregt werden, das durch zeichnerische Lösung festgestellte Ergebnis im Hausexperiment zu überprüfen.

## **Totalreflexion**

1 Stunde

### **Ziele**

Die Schüler

- können die Totalreflexion und ihre Anwendung im Lichtleitkabel erläutern;
- kennen den Begriff Grenzwinkel der Totalreflexion;
- können Grenzwinkel berechnen und experimentell bestätigen.

Unterrichtsmittel

Gummischlauch

Lichtleitkabel

Kerze

Haftoptik

SEG Optik (Geräte gemäß LBA 99/1)

Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Motivierung.** Es kann eines der folgenden Experimente mit überraschendem Ausgang durchgeführt werden:

- Gebündeltes Licht wird in ein Ende eines Lichtleitkabels geschickt. Das am anderen Ende austretende Licht trifft auf einen kleinen Schirm. Die Intensität des austretenden Lichtes ändert sich nicht, auch wenn das Kabel stark gebogen oder verknotet wird.
- Beim Demonstrationsexperiment zum Brechungsgesetz, bei dem das Licht vom optisch dichteren in das optisch dünnere Medium übertritt, wird der Einfallswinkel kontinuierlich weiter vergrößert, so daß das Licht schließlich nicht mehr in das optisch dünnere Medium übertritt.

**Totalreflexion und Grenzwinkel.** Die Erarbeitung der Begriffe Totalreflexion und Grenzwinkel kann wie im Lehrbuch unter Einbeziehung von Geräten der Haftoptik erfolgen. Zur Festigung der genannten Begriffe und Vorbereitung des folgenden Schülerexperiments sollte der Grenzwinkel für eine gegebene Stoffkombination berechnet werden (Auswahl aus Aufgabe 1 im LB, S. 99, bzw. Aufgabe 5 im LB, S. 118, treffen!).

Die Bestätigung des zuvor zu berechnenden Grenzwinkels  $\alpha_0 = 42^\circ$  erfolgt im Schülerexperiment.

**Anwendung der Totalreflexion im Lichtleitkabel.** Mit Bezug auf das zuerst genannte Motivationsbeispiel kann das dortige Problem unter Einbeziehung der LBA 99/2 gelöst werden. Außer den im Lehrbuch genannten Beispielen für die praktische Nutzung der Lichtleitung sollte ein Hinweis auf die Informationsübertragung mittels Lichtleitern gegeben werden (→ Stoffeinheit „Hertzsche Wellen“).

Die Information über die prinzipiellen physikalisch-technischen Möglichkeiten (Analogie zur Modulation Hertzscher Wellen) sollte mit dem Hinweis auf die Einsparung von Kupfer und die Massereduzierung verbunden werden. Etwa 30 g des in einem 1 km langen Lichtleitkabel verarbeiteten hochreinen Glases können etwa 340 kg Kupfer in einem gleichwertigen herkömmlichen Kabel ersetzen.

Besonders erlebnisbetont kann der Unterricht gestaltet werden, wenn neben einem Hinweis sogar die Nachrichtenübertragung (Sprache, Musik) durch Lichtleitkabel demonstriert wird. Die Experimentieranordnung kann gegebenenfalls (z. B. entsprechend PhiS 12/83, S. 508/509 oder PhiS 12/87, S. 491/492) in den FK(R) „Elektronik“ bzw. „Technische Anwendungen der Physik“ durch interessierte und befähigte Schüler geschaffen werden.

### **Prismen und Sammellinsen**

2 Stunden

Mit Prismen und Sammellinsen werden wichtige optische Bauelemente wiederholend behandelt, deren Funktionsweise auf dem Brechungsgesetz beruht. Am Beispiel des Fotoapparates erfolgt die Anwendung der Kenntnisse über den Strahlengang und die Entstehung reeller Bilder an Sammellinsen.

#### **Ziele**

##### **Die Schüler**

- kennen den Strahlenverlauf am Prisma (bei zweimaliger Brechung);
- wissen, daß zur Bildkonstruktion an Sammellinsen wenige besondere Strahlen ausreichen und wie diese nach der Brechung an einer Sammellinse verlaufen;
- können Strahlenverläufe und die Entstehung reeller Bilder an Sammellinsen zeichnerisch darstellen;
- kennen die Abhängigkeit der Bildweite von der Gegenstandsweite;
- können den Aufbau eines Fotoapparates beschreiben und dessen Wirkungsweise erklären;
- können die Entfernungseinstellung bei einem Fotoapparat erklären.

#### **Unterrichtsmittel**

##### **Haftoptik**

Rot- und Blaufilter

Diaprojektor

Spalt 0,2...0,5 mm

Prisma (gleichseitig)

Optische Bank

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

**Einsatz des Experiments bei der Reaktivierung der Kenntnisse über den Strahlenverlauf am Prisma.** Im Hinblick auf das angestrebte Ziel ist der Einfallswinkel  $\alpha$ , so im vorbereiteten Tafelbild (Bild 20) zu wählen, daß an der Grenzfläche Glas/Luft nicht Totalreflexion, sondern Brechung auftritt.

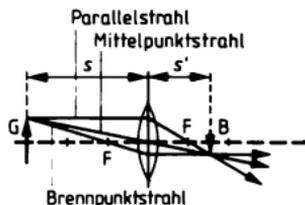
Mit einem Experiment kann der zuvor (von den Schülern zur Festigung des Brechungsge-

## Prismen und Sammellinsen



Luft  $\rightarrow$  Glas:  $\alpha_1 > \alpha_2$

Glas  $\rightarrow$  Luft:  $\alpha_2 < \beta_2$



s Gegenstandsweite

s' Bildweite

F Brennpunkt

G Gegenstand

B Bild

Bild 20 Tafelbild  
zu Prismen und  
Sammellinsen

setzes) gezeichnete Strahlenverlauf bestätigt werden. Das Experiment kann auch zuerst gezeigt werden, und die Schüler erklären das Beobachtungsergebnis.

**Hinweis auf die Farbzerlegung bei Brechung.** Varianten zur Erzeugung der Farbzerlegung bei Brechung und zu einem Hausexperiment findet man in PSE Strahlenoptik. Im Hinblick auf die Wellenoptik sollen die Schüler (ohne Erklärung) wissen, daß weißes Licht bei Brechung in farbiges Licht (Spektralfarben) zerlegt werden kann. Die Möglichkeiten zur ästhetischen Erziehung (Schönheit der Farberscheinungen) sollten im Zusammenhang mit dem Hinweis auf die Entstehung des Regenbogens genutzt werden.

**Strahlenverlauf und Entstehung reeller Bilder an Sammellinsen.** Bei der Zielorientierung und bei der Motivierung sollte davon ausgegangen werden, welche Bedeutung sichere und anwendungsbereite Kenntnisse aus der Strahlenoptik für das Verständnis vieler optischer Geräte haben. Am Beispiel des Fotoapparates wird verdeutlicht, daß Sammellinsen auch von den Schülern häufig genutzte optische Bauelemente bzw. Geräte sind.

Ausgehend vom Experimentieren sollten reale Lichtbündel am Anfang der Betrachtung stehen und der Lichtstrahl als „Ersatzobjekt“ charakterisiert werden. Zunächst fällt ein Lichtbündel auf die Sammellinse, ein Teil davon tritt durch die Linse. Dann werden besondere Lichtbündel ausgeblendet. Es wird gezeigt, daß sich diese auf der anderen Seite der Linse in demselben Punkt schneiden. Daraus wird die Möglichkeit der geometrischen Konstruktion mit den „Ersatzobjekten“ Lichtstrahl begründet (Bild 20).

Zur Übung eignet sich die Aufgabe 2 (LB, S. 118). Das funktionale Denken wird beim Lösen der Aufgaben 3 (LB, S. 118) bzw. 1 (LB, S. 103) geschult (Möglichkeit zur differenzierten Arbeit).

**Abhängigkeit der Bildweite von der Gegenstandsweite.** Die Abhängigkeit der Bildweite  $s'$  von der Gegenstandsweite  $s$  läßt sich aus einem Experiment und seiner zeichnerischen Darstellung auf das Schema eines Fotoapparates übertragen (Bild 21).

Die Entfernungseinstellung im Experiment sollte demonstriert werden. Wesentlich ist die physikalische Bedeutung der Objektivverstellung. Die (entgegengesetzte) Bewegungsrichtung von Gegenstand und Objektiv kann durch Bewegungspfeile symbolisiert werden.

Bei der zeichnerischen Darstellung der Bildentstehung sollte der Lehrer deutlich machen, welche Vereinfachungen vorgenommen werden (nur einmalige Brechung eines Strahls an der Linsenebene bei dünnen Linsen, Konstruktion von Bildern durch Konstruktion der Außenpunkte).

## Entfernungseinstellung beim Fotoapparat

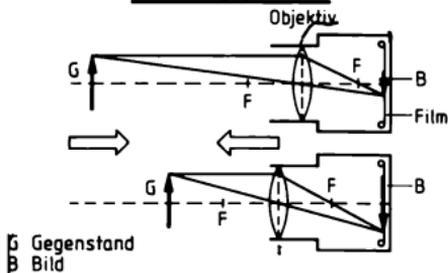


Bild 21 Tafelbild zur Entfernungseinstellung beim Fotoapparat

Die zeichnerische Darstellung sollte so vorgenommen werden, daß eine spätere Ergänzung von Gehäuse und Film möglich ist. Die Vorgabe der Linsenabstände (Objektivabstände) vom Schirm (Filmebene) bei Fern- und Naheinstellung ist anzuraten (z. B. Bildweiten  $s'_{\text{fern}} = 2,8 \text{ cm}$  und  $s'_{\text{nah}} = 4,0 \text{ cm}$ , Brennweite  $f = 2,0 \text{ cm}$ , Gegenstandsweiten  $s_{\text{fern}} = 7,0 \text{ cm}$  und  $s_{\text{nah}} = 4,0 \text{ cm}$ ). Das Tafelbild (Bild 21) und die Arbeit im Heft sind so zu planen, daß die Bilder bzw. Filmebenen bei Fern- und Naheinstellung genau senkrecht untereinander liegen. Auf diese Weise ist die notwendige Bewegungsrichtung der Sammellinse bei der Entfernungseinstellung besser zu überschauen. Auf das Zeichnen von Blende und Verschuß wird aus Gründen einer besseren Übersichtlichkeit verzichtet.

**Leistungskontrolle.** Es sollten Aufgaben zu folgenden Inhalten gestellt werden:

### I Reproduzieren und Anwenden von Gesetzen

1. Formulieren Sie in Worten das Brechungsgesetz für den Übergang des Lichtes von einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium! Wie lautet die mathematische Formulierung des Brechungsgesetzes? Geben Sie die Bedeutung der darin enthaltenen Formelzeichen an!
2. Zeichnen Sie das Bild (Bild 22) ab! Kennzeichnen Sie in Ihrem Bild den Einfallswinkel beim Übergang des Lichtes von Luft in Glas! Zeichnen Sie das Einfallslot und den Strahlenverlauf des Lichtes, wenn es von Glas wieder in Luft übertritt!



Bild 22

3. Ein Gegenstand, der 2 cm hoch ist und sich 3 cm von einer Sammellinse mit der Brennweite von 20 mm entfernt befindet, soll mit Hilfe der Linse abgebildet werden. Konstruieren Sie das entstehende Bild!

### II Berechnen von physikalischen Größen

4. Ein Lichtbündel geht von Luft in Wasser über. Der Einfallswinkel ist  $30^\circ$ . Wie groß ist der Brechungswinkel im Wasser?
5. Berechnen Sie den Grenzwinkel der Totalreflexion für die Stoffkombination Flintglas - Luft!

### III Darstellen von Anwendungen

6. Erläutern Sie, was man unter Totalreflexion des Lichtes versteht und wie man sie praktisch nutzen kann!

7. Beschreiben Sie den Aufbau eines Fotoapparates und erklären Sie dessen Wirkungsweise!
8. Erklären Sie die Entfernungseinstellung beim Fotoapparat!

## Stoffeinheit Wellenoptik

7 Stunden

### *Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen die Beugung und Interferenz des Lichtes und ihre Bedeutung für den Nachweis der Welleneigenschaften von Licht, die Farbzerlegung weißen Lichtes bei Interferenz und Arten von Spektren. Es wird eine inhaltliche Erweiterung des Begriffs Spektrum auf nicht sichtbare elektromagnetische Wellen vorgenommen. Bei der Behandlung der Welleneigenschaften des Lichtes, beim Nachweis der infraroten und ultravioletten Strahlung und beim Ausblick auf die Laserstrahlung wird die Einsicht gefestigt, daß der Mensch in der Lage ist, physikalische Erscheinungen zu erkennen und anzuwenden. Die Schüler erleben bei Experimenten zur Wellenoptik überzeugend, wie wichtig sorgfältiges Arbeiten ist. Sie werden zur Erkenntnis geführt, daß der Anwendbarkeit des Modells Lichtstrahl Grenzen gesetzt sind. Im Hinblick auf ein erweiterungsfähiges Wissen sollte der Hinweis erfolgen, daß auch die Wellenvorstellung vom Licht noch nicht ausreicht, alle optischen Erscheinungen und Vorgänge zu erklären. Da hohe Anforderungen an das Verständnis der Zusammenhänge zwischen Interferenzstreifenabstand, Farbe des Lichtes und Wellenlänge gestellt werden, kommt der Veranschaulichung dieser Sachverhalte durch einen kombinierten Einsatz z. B. von Experimentiergeräten, Lehrbuch und Folie große Bedeutung zu.

Die Schüler werden in der ersten thematischen Einheit zur Erkenntnis geführt, daß es Grenzen für die *Anwendbarkeit des Modells Lichtstrahl* gibt und daß aus der Beugung und Interferenz des Lichtes auf dessen Welleneigenschaften geschlossen werden kann. Die Farbzerlegung bei Interferenz bestätigt erneut die Welleneigenschaften des Lichtes und schafft Voraussetzungen für die Behandlung von Spektren.

Im Mittelpunkt der zweiten thematischen Einheit stehen kontinuierliche Spektren und Linienspektren als Arten von Spektren. Bedeutsam ist vor allem der Informationsgewinn aus Spektren von Gasen (z. B. über die chemische Zusammensetzung von Stoffen). Am Beispiel des Spektrums des Sonnenlichtes und beim Hinweis auf die Spektralanalyse wird dies besonders deutlich. Dabei ergibt sich eine enge Verbindung zu den Kenntnissen der Schüler aus dem Astronomieunterricht.

In der dritten thematischen Einheit erfolgt zunächst mit Behandlung der infraroten und ultravioletten Strahlung eine erste Erweiterung des Begriffs Spektrum. Die Schüler erfahren, wie man diese unsichtbaren Strahlungen in verschiedenen Bereichen praktisch nutzt. Der Begriff Spektrum wird schließlich bei der Behandlung des elektromagnetischen Spektrums erneut erweitert. An Beispielen (z. B. Nutzung des Durchdringungsvermögens von kurzen elektromagnetischen Wellen beim „Durchleuchten“ von lichtundurchlässigen Körpern, Beschaffenheit von Reflektoren für lange elektromagnetische Wellen) wird verdeutlicht, wie Eigenschaften elektromagnetischer Wellenarten genutzt werden.

Abschließend erfolgt eine *Systematisierung* der Kenntnisse über mechanische Wellen, Hertzsche Wellen und Licht bezüglich Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz.

Die Schüler sollen folgendes grundlegendes *Wissen und Können* erwerben:

- Beugung und Interferenz als Nachweis für Welleneigenschaften des Lichtes;
- Entstehung der Interferenzstreifen am Doppelspalt;

- Grenzen des Modells Lichtstrahl;
- Zusammenhang zwischen Lichtfarbe und Wellenlänge des Lichtes;
- Berechnen von Frequenzen bei gegebenen Wellenlängen und umgekehrt;
- Erzeugung eines kontinuierlichen Spektrums;
- Beschreiben von kontinuierlichen Spektren und Linienspektren;
- Vergleichen von mechanischen Wellen, Hertzchen Wellen und Licht bezüglich Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz.

### Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierendes Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<p><i>Beugung und Interferenz des Lichtes, Farbzerlegung bei Interferenz</i></p> <p>Beugung und Interferenz am Doppelspalt, Welleneigenschaften des Lichtes Grenzen des Modells Lichtstrahl Farbzerlegung weißen Lichtes bei Interferenz Zusammenhänge: Streifenabstand <math>s</math> – Farbe des Lichtes – Wellenlänge 2 Std.</p>	Mechanische Wellen (Ph 10)	<p>SE: Interferenz bei der Beugung des Lichtes am Doppelspalt Fo: Beugung und Interferenz – Farbzerlegung (Bild 24) DE: Farbzerlegung weißen Lichtes am Doppelspalt SE: Farbzerlegung weißen Lichtes durch ein Gitter</p>
<p><i>Arten von Spektren</i></p> <p>Berechnen von Frequenzen und Wellenlängen kontinuierliche Spektren und Linienspektren Spektren von Gasen unter hohem Druck Absorption des Lichtes in Gasen Spektrum des Sonnenlichtes 2 Std</p>	<p>Rechnen mit Zehnerpotenzen (Ma 9)</p> <p>Sonnenatmosphäre, Sonnenspektrum, Hinweis auf die Bedeutung der Spektralanalyse für die astronomische Forschung (A 10)</p>	<p>DE: Kontinuierliches Spektrum DE: Linienspektrum DE: Absorption des Lichtes in Gasen DE: Spektralapparat</p>
<p><i>Elektromagnetisches Spektrum</i></p> <p>Nachweis der IR- und UV-Strahlung Anwendungen von IR- und UV-Strahlung Darstellung im elektromagnetischen Spektrum Eigenschaften und Anwendungen elektromagnetischer Wellen Eigenschaften und Anwendungen der Laserstrahlung 2 Std.</p>	<p>Experimenteller Nachweis von Feldern (Ph 8, 9) Strahlung der Sonne (A 10) Röntgenstrahlung (Bio 10) Periodensystem der Elemente (Ch 8)</p>	<p>DE: Nachweis der IR-Strahlung im Spektrum DE: Nachweis der UV-Strahlung im Spektrum SV 1: Anwendung der IR- und UV-Strahlung USF: Elektromagnetische Wellen SV 2: Aufgaben 1 und 2 (LB, S. 115)</p>

<b>Festigung und Kontrolle</b> Systematisierung von mechanischen Wellen, Hertzischen Wellen und Licht 1 Std.		AB: Aufgabenstellung für die Festigung und Kontrolle
--	--	--

## *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*

### **Beugung und Interferenz des Lichtes, Farbzerlegung bei Interferenz**

2 Stunden

Den Schülern muß deutlich werden, daß aus der Beugung und der Interferenz des Lichtes auf dessen Welleneigenschaften geschlossen werden kann. Da insbesondere bei der Erläuterung der Entstehung der Interferenzstreifen und des Zusammenhangs zwischen Lichtfarbe und Wellenlänge des Lichtes auf umfangreiche Konstruktionen von Kreiswellensystemen in der Stunde verzichtet werden muß, ist zur Erhöhung der Faßlichkeit und Anschaulichkeit der Einsatz der Folie (Bild 24) zweckmäßig.

#### Ziele

##### Die Schüler

- wissen, daß Licht Welleneigenschaften hat;
- können die Entstehung der Interferenzstreifen am Doppelspalt erläutern;
- kennen die Grenzen des Modells Lichtstrahl;
- wissen, daß weißes Licht durch Interferenz in Farben zerlegt werden kann und dabei mehrere kontinuierliche Spektren entstehen;
- können Frequenzen bei gegebener Wellenlänge und umgekehrt berechnen;
- können den Zusammenhang zwischen Lichtfarbe und Wellenlänge des Lichtes erläutern.

#### Unterrichtsmittel

Geräte nach Bedien- und Experimentieranleitung Wellenoptik (BEA W), V 2.8.1.

Entsprechend der Anzahl der Schülergruppen:

Geräte nach SEG-Anleitungsheft Optik, V 5.10.1. od. 5.10.4. und nach LBA 107/1

Dia-Projektor, Spalt-Dia (1 mm)

Fo: Bild 24

#### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung in die Stoffeinheit.** Anknüpfend an die historischen Betrachtungen am Beginn des Stoffgebietes kann mitgeteilt werden, daß mit dem Modell Lichtstrahl die physikalische Natur des Lichtes nicht erklärt werden kann. Die folgenden Untersuchungen sollen die Frage nach Eigenschaften des Lichtes beantworten. Zur Motivierung eignet sich auch die Aufgabe 2 (LB, S. 119).

**Beugung und Interferenz am Doppelspalt.** Die Erläuterung von Huygens' Vorstellungen vom Licht sollen nur das für das Verständnis der folgenden Untersuchungen in der Wellenoptik Notwendige enthalten. Dazu gehören die Ausbreitung der Wellen von einer Lichtquelle bzw. vom Spalt. Eine Behandlung von Elementarwellen und Huygensschem Prinzip

erfolgt nicht (Bild 23). Für interessierte Schüler kann z. B. folgende Literatur empfohlen werden:

Conrad, W.: Physiker im Kreuzverhör (Fachbuchverlag) und Backe, H.: Physik selbst erlebt (Urania-Verlag).

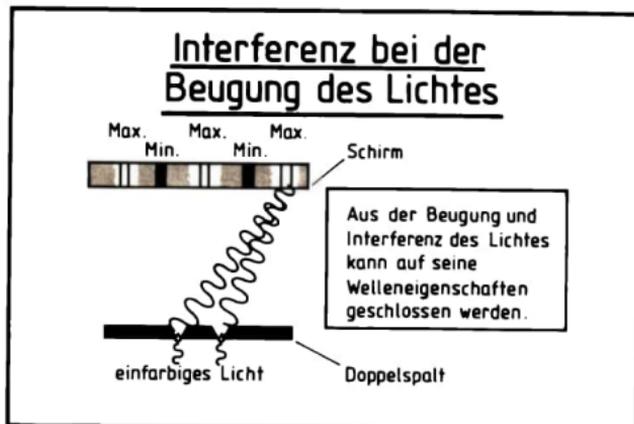


Bild 23 Tafelbild zur Interferenz bei der Beugung des Lichtes am Doppelspalt

Je nach den Bedingungen (insbesondere der Verdunklung und den zur Verfügung stehenden Lichtquellen) muß der Lehrer entscheiden, ob er bei den geforderten Experimenten zur Beugung, Interferenz und Farberlegung die Projektion auf einen Schirm oder individuelle Beobachtungen durch die Schüler wählt, die auch bei weniger gut verdunkelten Räumen zum Erfolg führen.

Das Schülerexperiment zur Betrachtung der Interferenzerscheinungen kann auch folgendermaßen durchgeführt werden: Das Licht eines Diaprojektors mit Spalt (0,2...1,0 mm) wird auf einen etwa 1 m entfernten senkrecht angeordneten verchromten Stativstab gerichtet. Auf diese Weise ist es möglich, daß von den Schülern in einem großen Winkelbereich mit dem Doppelspalt und dem Rotfilter der helle Lichtstreifen auf dem Stativstab gut betrachtet wer-

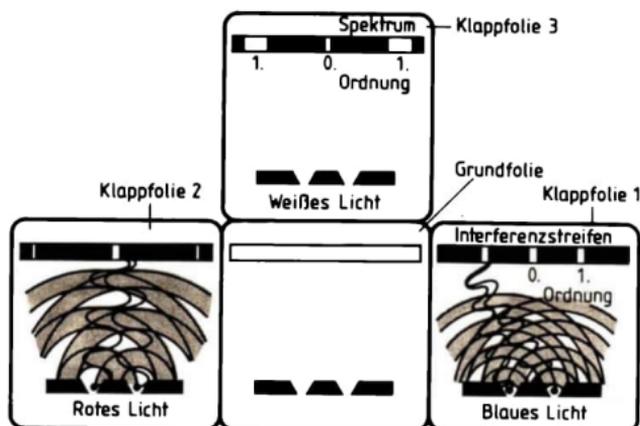


Bild 24 Folie zur Beugung und Interferenz - Farberlegung

den kann: Dazu sind Doppelspalt und Farbfilter dicht vor das Auge zu halten. Diese Art der Durchführung hat den Vorteil, daß keine optischen Leuchten benötigt werden.

Zur Erläuterung des Entstehens der Helligkeitsmaxima dient der Foliensatz (Bild 24), wobei nur die Grundfolie und die Klappfolie 1 oder 2 (einfarbiges Licht) verwendet werden. Die drehbaren Leisten mit den Sinuskurven gestatten, die Entstehung der Maxima und Minima schematisch zu veranschaulichen.

**Grenzen der Anwendbarkeit des Modells Lichtstrahl.** Es sollte deutlich herausgearbeitet werden, welche Grenzen die Anwendbarkeit des Modells Lichtstrahl hat.

Es sollte gezeigt werden, daß die Beschreibung und Erklärung der Beugungs- und Interferenzerscheinungen mit dem Modell Lichtstrahl nicht möglich sind; eine Erklärung ist dagegen möglich, wenn man annimmt, daß Licht Welleneigenschaften besitzt.

**Farbzerlegung von weißem Licht durch ein Gitter.** Der Lehrer kann die Schüler zur Motivierung auf Farberscheinungen bei der Brechung von weißem Licht an geeigneten Körpern (z. B. geschliffene Glaskanten, Regentropfen, Glasprismen) aufmerksam machen. Die Schüler erkennen, daß bei der Beugung von Glühlicht an einem Doppelspalt ebenfalls Farberscheinungen auftreten.

Nachdem der Lehrer die Begriffe Gitter, Beobachtungsentfernung  $e$  und Streifenabstand  $s$  erläutert hat, führen die Schüler das Experiment entsprechend dem Lehrbuch (S. 106) durch.

Unter Einbeziehung der Folie (Bild 24) können die festgestellte Abhängigkeit des Interferenzstreifenabstandes  $s$  von der Lichtfarbe und der Zusammenhang zwischen Lichtfarbe und Wellenlänge veranschaulicht und erläutert werden (Bild 25).

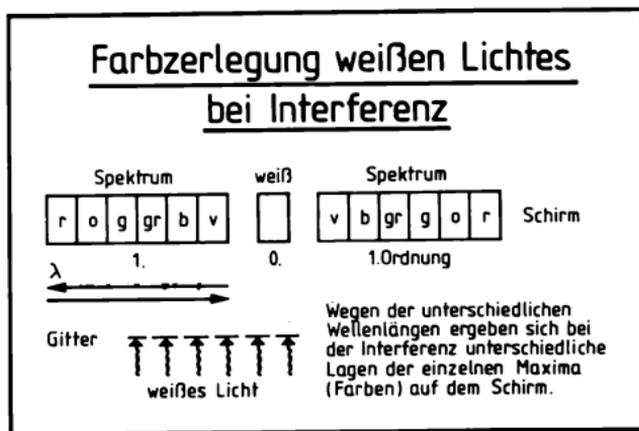


Bild 25 Tafelbild zur Farbzerlegung weißen Lichtes bei Interferenz

Der Lehrer macht deutlich, daß das Auftreten der Farbzerlegung eine weitere Bestätigung der Aussage „Licht hat Welleneigenschaften“ darstellt.

## Arten von Spektren

2 Stunden

Spektren werden auch im Astronomieunterricht behandelt. Eine Abstimmung mit dem Astronomielehrer sollte vorgenommen werden. Bei der Anwendung der Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes wird das Wissen über die Welleneigenschaften des Lichtes und über den Zusammenhang von Wellenlänge, Frequenz und Farbe gefestigt.

## Ziele

### Die Schüler

- können die Gleichung für die Ausbreitungsgeschwindigkeit anwenden;
- können die Erzeugung und das Aussehen von kontinuierlichen Spektren und Linienspektren beschreiben;
- kennen den Zusammenhang zwischen dem Aggregatzustand des Körpers, der das Licht aussendet, und der Art des Spektrums;
- wissen, daß heiße leuchtende Gase unter hohem Druck Licht aussenden, das bei der spektralen Zerlegung kontinuierlich Spektrum ergibt;
- wissen, daß die schwarzen Linien im Spektrum des Sonnenlichtes durch Absorption des Lichtes entstehen.

### Unterrichtsmittel

Geräte nach BEA W, V 2.2.6, V 2.3.1.

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Berechnen von Frequenzen und Wellenlängen.** Aus den Welleneigenschaften des Lichtes ergibt sich die Anwendbarkeit der Gleichung  $c = \lambda \cdot f$  beim Berechnen von Frequenzen bzw. Wellenlängen. Aus der Mitteilung der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht einer bestimmten Frequenz in verschiedenen Medien wird die Abhängigkeit der Wellenlänge vom Medium gefolgert. Eine weitere Möglichkeit, unterschiedliche Wellenlängen des Lichtes in verschiedenen Medien zu verdeutlichen, ergibt sich durch Auswertung der grafischen Darstellung der Brechung einer Welle (z. B. LB, S. 117). Zur Wiederholung und Übung eignen sich die Aufgaben 4 und 5 (LB, S. 109) bzw. Aufgabe 3 (LB, S. 119).

**Kontinuierliche Spektren und Linienspektren.** Eine systematische und übersichtliche Darstellung der zu wiederholenden bzw. zu erarbeitenden Kenntnisse über die Arten von Spektren bietet die Farbtafel im Lehrbuch.

Ein Demonstrationsexperiment sollte die Wiederholung der Farbzerlegung weißen Lichtes bzw. des Begriffs kontinuierliches Spektrum unterstützen. Es kann eine Problemsituation geschaffen werden, indem im Grundaufbau zur Erzeugung eines kontinuierlichen Spektrums mit Reflexionsgitter (oder Geradsichtprisma) statt der Glühlichtquelle die Spektralröhre Ne oder He oder die Quecksilberspektrallampe (Hg E2) verwendet wird, ohne das zunächst besonders herauszustellen. Die Schüler erkennen, daß kein kontinuierliches Spektrum entstanden ist. Der Begriff *Linienspektrum* wird eingeführt. Sie werden zur Erkenntnis geführt, daß die verwendete Experimentieranordnung mit der zur Erzeugung eines kontinuierlichen Spektrums – bis auf die Art der Lichtquelle – prinzipiell übereinstimmt. Die Art der Lichtquelle muß also hier die Ursache für das Entstehen unterschiedlicher Spektren sein.

Eine interessante experimentelle Variante ergibt sich durch Verwendung der Natriumdampflampe NATRALOX. Der Einsatz dieser Lampe (Bild 26) bietet den Vorteil, nacheinander die Linienspektren von Natrium und Quecksilber, den Übergang von einem Linienspektrum zu einem kontinuierlichen Spektrum und eine Absorptionslinie im Spektrum heißer Gase demonstrieren zu können (PhiS 3/77).

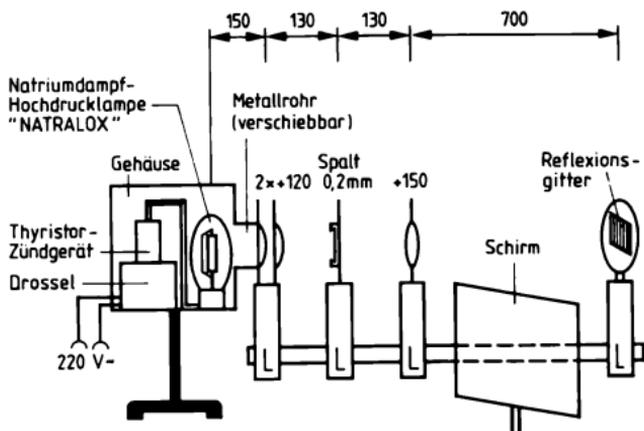


Bild 26 Experimentieranordnung

**Spektrn von Gasen unter hohem Druck.** Zur Erarbeitung der Spektrn von Gasen unter verschiedenen physikalischen Bedingungen kann Farbtafel 1 im Lehrbuch genutzt werden.

Steht die Lampe NATRALOX zur Verfügung, ist die Verbreiterung der gelben Natriumlinie überzeugend demonstrierbar, wenn man die Lampe in der Zeit des besonders stark ansteigenden Dampfdrucks – also etwa bis 2 min nach Einschalten der Lampe – in Betrieb läßt.

**Absorption des Lichtes in Gasen.** Ausgehend von der Frage, ob das Einbringen von verschiedenen Stoffen zwischen Lichtquelle und Schirm einen Einfluß auf das Aussehen des Spektrums hat, wird die Absorption des Lichtes demonstriert. Dabei soll – neben Folien oder Glasfiltern – vor allem ein Gas verwendet werden. Hinweise zur Herstellung absorbierender gasförmiger Substanzen findet man in PSE Strahlenoptik (Demonstration von Absorptionsspektrn fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe).

In besonders eindrucksvoller und effektiver Weise kann eine Absorptionslinie im Spektrum heißer Gase mit der Lampe NATRALOX demonstriert und die Entstehung erläutert werden, wenn man die Lampe wenigstens 3 min in Betrieb läßt.

Weitere experimentelle Varianten findet man in PhiS 6/86, S. 247 und im BEA W, V 2.3.4. Die Kenntnisse werden auf die Erklärung der schwarzen Linien im Spektrum des Sonnenlichtes übertragen. Eine systematische Darstellung der Kenntnisse über die Absorption des Lichtes kann unter Nutzung der Farbtafel im Lehrbuch erfolgen.

**Hinweis auf die Spektralanalyse.** Die Kenntnisse der Schüler aus dem Astronomieunterricht über die Spektralanalyse werden reaktiviert und gefestigt. Dabei ist der Einsatz eines Spektroskops (zweckmäßig entsprechend BEA W unter Verwendung eines Geradsichtprismas) sinnvoll. Anhand der Farbtafel des Lehrbuches können die Schüler das Element, aus dem das Füllgas der Lichtquelle besteht, ermitteln, nachdem sie das Spektrum betrachtet haben. Zum Betrieb der Spektralröhren sollte bevorzugt das Stromversorgungsgerät für Hochspannung HSG 1 (Hochfrequenzausgang) benutzt werden. Zur Vorbereitung der nächsten thematischen Einheit ist folgende Hausaufgabe ratsam: Erläutern Sie, wie eine physikalische Erscheinung (z. B. magn. Feld, ...), die durch unsere Sinnesorgane nicht direkt wahrgenommen werden kann, experimentell nachzuweisen ist!

In dieser thematischen Einheit wird ein Beitrag zum Weltbild geleistet, indem physikalische Erscheinungen, die von unseren Sinnesorganen nicht direkt wahrgenommen werden können, experimentell nachgewiesen werden. Es wird deutlich, daß beim experimentellen Nachweis der infraroten und der ultravioletten Strahlung Wechselwirkungen dieser Strahlungen mit geeigneten Körpern genutzt werden.

### Ziele

#### Die Schüler

- wissen, daß neben dem sichtbaren Licht die infrarote und ultraviolette Strahlung existieren;
- kennen den experimentellen Nachweis der infraroten und ultravioletten Strahlung im Spektrum;
- kennen Anwendungen dieser Strahlungen;
- kennen die Arten elektromagnetischer Wellen und ihre Anordnung im elektromagnetischen Spektrum nach Frequenz bzw. Wellenlänge;
- kennen Eigenschaften verschiedener elektromagnetischer Wellen;
- kennen Eigenschaften und Anwendungen der Laserstrahlung.

### Unterrichtsmittel

Geräte nach BEA W, V 2.4.2. oder PhiS 12/1981, S. 551f.

BEA W, V 2.4.1.

USF: Elektromagnetische Wellen

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Infrarote Strahlung.** Zur Vorbereitung können die Grenzbereiche des sichtbaren Spektrums (Intervalle für  $f$  und  $\lambda$ ) mittels Tafelwerk (S. 43) ermittelt werden. Aus der Vermutung, daß jenseits des sichtbaren Lichtes im Spektrum auch Wellenerscheinungen existieren könnten, die unseren Sinnesorganen offenbar nicht zugänglich sind, wird ein Motiv für die Untersuchung des Sachverhaltes herausgearbeitet. Unter Einbeziehung historischer Betrachtungen zur Entdeckungsgeschichte der infraroten Strahlung kann der Aufbau und die prinzipielle Funktionsweise der im Unterricht verwendeten Experimentieranordnung erläutert werden. Für die historischen Betrachtungen kann man folgende Literatur nutzen:

Conrad, „Physiker im Kreuzverhör“, S. 100f.

Herrmann, „Entdecker des Himmels“, S. 117f.

Nachdem die infrarote Strahlung im Demonstrationsexperiment nachgewiesen wurde, sollte eine Information über Wellenlänge und Frequenz erfolgen. Kenntnisse über Anwendungen der infraroten Strahlung können unter Einbeziehung des ersten Teiles von SV 1 bzw. des Lehrbuches (S. 111f.) gewonnen werden.

**Ultraviolette Strahlung.** Unter Einbeziehung historischer Betrachtungen zur Entdeckungsgeschichte dieser Strahlung können experimenteller Nachweis, Wellenlänge bzw. Frequenz und Anwendungen analog zur Behandlung der infraroten Strahlung erfolgen.

Die Schüler werden mit der Notwendigkeit und den Mitteln des Schutzes vor ultravioletter Strahlung vertraut gemacht.

**Systematisierung elektromagnetischer Wellen.** Der Wert einer solchen Systematisierung als Wissensspeicher und Erkenntnismittel kann am Beispiel des bekannten Periodensystems der Elemente verdeutlicht werden.

Daran anknüpfend kann die Frage gestellt werden, ob (in Analogie zur Voraussage bis dahin unbekannter chemischer Elemente) auch im Physikunterricht bisher nicht behandelte elektromagnetische Wellen gefunden werden können. Die Schüler erhalten den Auftrag, mit Hilfe des Lehrbuches (S.114) und des Tafelwerkes (S.43) Wellenlänge und Frequenz der bisher behandelten elektromagnetischen Wellen aufzusuchen.

Der Lehrer orientiert auf eine übersichtliche (graphische) Darstellung der Wellenbereiche (Wellenskala nach Lebedew). Unter Einbeziehung des Lehrbuches (S.115) und des Tafelwerkes (S.43) kann das System weiter unterteilt und erweitert werden.

Bei der Einordnung ins elektromagnetische Spektrum sollen die Schüler erkennen, daß sich elektromagnetische Wellen hinsichtlich ihrer Wellenlänge bzw. Frequenz und ihrer Eigenschaften unterscheiden. Die Wellenlängenbereiche bestimmen die Anwendung der elektromagnetischen Wellen: Wellen relativ großer Wellenlänge werden vorrangig zur Informationsübertragung (Rundfunk, Fernsehen) genutzt, kürzere Wellenlängen dienen vorrangig der Energieübertragung (Infrarotstrahlung zur Erwärmung und Licht zur Beleuchtung), kurze Wellenlängen finden in der Informationsgewinnung Anwendung (Durchstrahlung in Medizin und Technik).

**Einbeziehung der Unterrichtssendung des Fernsehens.** Die Fernsehsendung stellt in starkem Maße den Praxisbezug her und trägt zur Festigung und Systematisierung des Wissens der Schüler bei. Insbesondere spricht sie die Schüler stark emotional an. Für den Einsatz im Unterricht sollten die Hinweise in den Methodischen Anleitungen zu den Sendungen genutzt werden.

Dazu gehören insbesondere diejenigen zur Motivierung, zum kombinierten Einsatz von Lehrbuch und Unterrichtsfernsehsendung und zum Vorbereiten einer Tabelle mit den Spalten Wellenart/Erzeugung/Anwendungsbeispiele/vorrangig genutzte Eigenschaft (als vorbereitende Hausaufgabe).

Ist ein Einsatz der Sendung nicht möglich, könnten folgende Stichpunkte für die Zuordnung von Anwendungen zu den Wellenarten verwendet werden:

Hertzische Wellen	Übertragung von Informationen: Sprache, Musik, Bilder, Steuerimpulse (Rundfunk, Fernsehfunk, Funkmeßtechnik)
IR-Strahlung	Infrarotfotografie, infrarote Strahlung zum Brennen in der Technik, zum Trocknen, zum Zubereiten von Speisen, zur Tieraufzucht
sichtbares Licht	Beleuchtung, Übertragung von Informationen
UV-Strahlung	Höhensonne, Aufdeckung von Fälschungen (Kriminalistik)
Röntgenstrahlung	Röntgendiagnostik und Röntgentherapie, zerstörungsfreie Werkstoffprüfung
$\gamma$ -Strahlung	Bestrahlung, zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, kontaktfreie Dickenmessung
kosmische Strahlung	Forschungen im Weltall

**Eigenschaften und Anwendungen der Laserstrahlung.** Für die Gestaltung des Schüler-vortrages sollte der Lehrer darauf hinweisen, daß es besonders auf die Eigenschaften und die Anwendung der Laserstrahlung ankommt. Er sollte die Literaturbereitstellung („Technikus“, „Jugend und Technik“ ...) unterstützen.

Im Hinblick auf das Abschlussniveau der Klasse 10 kann ausgewertet werden, wie die Anforderungen bezüglich des Haltens von Kurzvorträgen (Deutsch Kl.8 bis 10) erfüllt wurden und es werden notwendige Hinweise gegeben.

## Ziele

## Die Schüler

- kennen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen mechanischen Wellen, Hertzchen Wellen und Licht;
- können mechanische Wellen, Hertzche Wellen und Licht bezüglich Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz miteinander vergleichen.

## Unterrichtsmittel

Fo: Bild 27

AB: Aufgabenstellung für die schriftliche Leistungskontrolle

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Systematisieren von mechanischen Wellen, Hertzchen Wellen und Licht.** In Abhängigkeit von den konkreten Bedingungen muß der Lehrer entscheiden, ob er wesentliche Merkmale der Vorgänge Reflexion, Brechung, Beugung und Interferenz nacheinander für mechanische Wellen, Hertzche Wellen und Licht wiederholen oder bestimmte Gesichtspunkte für Gemeinsamkeiten und Unterschiede der genannten Vorgänge herausarbeiten läßt (höheres Anforderungsniveau). Solche Gesichtspunkte können sein:

1. Änderung der Ausbreitungsrichtung des physikalischen Objekts nach Auftreffen auf Grenzflächen (für  $\alpha \neq 0^\circ$ ,  $\alpha \neq 90^\circ$ )
  - a) ohne Übertritt in ein anderes Medium (Reflexion, Beugung);
  - b) mit Übertritt in ein anderes Medium (Brechung).
2. Änderung der Ausbreitungsgeschwindigkeit bei Übertritt in ein anderes Medium.
3. Ungestörte Überlagerung des Objekts (von Wellen), bei der Gebiete der Verstärkung und Auslöschung in regelmäßiger Folge entstehen.

Weitere Gemeinsamkeiten können bei den Reflexions- und Brechungsgesetzen (beim Winkelvergleich und der Lagebeziehung) herausgestellt werden.

Eine weitere Festigung und Vertiefung der Kenntnisse über ausgewählte physikalische Objekte mit Welleneigenschaften läßt sich durch systematische Ergänzung der den Schülern bekannten LBA auf S. 117 durch Einbeziehung der mechanischen Wellen erreichen (Bild 27).

**Leistungskontrolle.** Den Schülern sollte je eine Aufgabe aus den folgenden 3 Gruppen gestellt werden.

**I Berechnen von physikalischen Größen**

1. Bei einer Spektralanalyse wurde für eine Linie des roten Lichtes eine Wellenlänge von  $6,82 \cdot 10^{-7}$  m ermittelt. Berechnen Sie die Frequenz des ausgesandten Lichtes!
2. Das Spektrum des Sonnenlichtes zeigt unter anderem eine schwarze Linie der Wellenlänge von  $5,27 \cdot 10^{-7}$  m. Berechnen Sie die Frequenz des Lichtes dieser Wellenlänge!

**II Erläutern bzw. Beschreiben eines physikalischen Sachverhalts und seiner praktischen Nutzung**

3. Erläutern Sie am Beispiel der infraroten oder ultravioletten Strahlung, wie man diese Strahlung nachweisen kann und wie sie genutzt werden kann!
4. Beschreiben Sie, wie man ein Linienspektrum erzeugt!  
Welche Informationen liefert ein solches Spektrum?

**III Beschreiben, Erläutern, Begründen von Beugungserscheinungen**

5. Beim Durchgang einfarbigen Lichtes durch einen Doppelspalt oder ein Gitter kann man auf dem Bildschirm helle und dunkle Streifen beobachten.

Mechanische Wellen	Licht	Hertzische Wellen
--------------------	-------	-------------------

### Übereinstimmung

- Reflexion und Brechung
- Beugung und Interferenz

### Unterschiede

<ul style="list-style-type: none"> <li>- breiten sich <u>nur</u> in Stoffen aus</li> <li>- Ausbreitungsgeschwindigkeit <math>v \neq c_{\text{vak}}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- breiten sich in Stoffen <u>und</u> im Vakuum aus</li> <li>- Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum <math>c_{\text{vak}} = 300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}</math></li> <li>- Ausbreitungsgeschwindigkeit in Stoffen <math>c_{\text{Stoff}} \neq c_{\text{vak}}</math></li> </ul>
--	---

Bild 27 Folie zur Systematisierung Mechanische Wellen – Licht – Hertzische Wellen

- a) Erläutern Sie, wie diese Streifen entstehen!
- b) Welche Schlußfolgerungen kann man aus den beobachteten Streifen über die Eigenschaften des Lichtes ziehen?
- c) Begründen Sie diese Schlußfolgerung!
6. Weißes Licht fällt so auf ein Gitter, daß auf dem Bildschirm ein Spektrum sichtbar wird.
  - a) Beschreiben Sie das Aussehen des Spektrums!
  - b) Erläutern Sie die Entstehung dieses Spektrums!
  - c) Welche Schlußfolgerungen kann man aus den beobachteten Erscheinungen über weißes Licht ziehen?

## Stoffgebiet Gesamtwiederholung – Praktikum

18 Stunden

### Ziele und inhaltliche Schwerpunkte

Die Schüler sollen sich am Ende der Klasse 10 das in den Lehrplänen der Klassen 6 bis 10 enthaltene grundlegende Wissen und Können angeeignet haben. Der beste Weg zu einem hohen Abschlußniveau aller Schüler ist unbestritten ein an der weiterentwickelten didaktisch-methodischen Grundkonzeption orientierter, auf alle Möglichkeiten der Festigung bedachter Physikunterricht in jeder Klasse und in jedem Stoffgebiet. In diesem Unterricht schenkt der Lehrer der differenzierten, planmäßigen und zielgerichteten Wiederholung, Sy-

stematisierung, Übung und Anwendung große Aufmerksamkeit. Darüber hinaus bietet das Stoffgebiet „Gesamtwiederholung – Praktikum“ in Klasse 10 mit 18 Stunden weitere Möglichkeiten, ein hohes Abschnübniveau zu realisieren.

Ziel dieses Stoffgebietes ist die Festigung und Vertiefung des grundlegenden Wissens und Könnens der Schüler durch Wiederholung, Übung, Anwendung und Systematisierung. Dem Erreichen dieses Zieles dient die Reproduktion und Systematisierung grundlegender physikalischer Begriffe und Gesetze sowie die wiederholende Anwendung fachspezifischer Denk- und Arbeitsweisen auf physikalische Inhalte, die die Schüler im Physiklehrgang kennengelernt haben. Dazu gehört das Arbeiten mit physikalischen Aufgaben vielfältigen Inhalts, eines breiten Spektrums der Tätigkeitsanforderungen differenzierten Niveaus. Dabei stehen jene Schülertätigkeiten im Mittelpunkt, die im gesamten Physiklehrgang entscheidend für die Erstaneignung und Festigung des Unterrichtsinhalts sind. Im Lehrbuch werden Aufgaben zur Wiederholung und Übung angeboten, die sich auf grundlegende Inhalte aus dem Physikunterricht der Klassen 6 bis 10 beziehen. Während die am Stoff der Klasse 10 orientierten Aufgaben den Schülern weitgehend bei dessen Behandlung im Laufe des Schuljahres gestellt werden, sind die auf den Inhalt der Klassen 6 bis 9 bezogenen Aufgaben für die immanente Festigung und für die Gesamtwiederholung effektiv nutzbar. Dieser Empfehlung liegt der Standpunkt zugrunde, bei der Behandlung der Gravitation, der mechanischen Schwingungen und Wellen, des Wechselstroms, des Schwingkreises und der Hertzschen Wellen sowie der Optik die das Abschnübniveau mitbestimmenden physikalischen Grundlagen aus früheren Klassen immanent zu festigen, wenn dies aus sachlogischen Gründen möglich und zweckmäßig ist. Jene wesentlichen Inhalte, für die in Klasse 10 nur gelegentliche oder keine Möglichkeiten zur immanenten Festigung bestehen (z. B. Kinematik, Thermodynamik), sind dann Gegenstand der Gesamtwiederholung.

Der Lehrplan sieht vor, daß Gesamtwiederholung und physikalisches Praktikum in Klasse 10 eine inhaltliche Einheit bilden. Im Praktikum führen die Schüler anhand von Anleitungen vorbereitete umfangreiche Experimente durch und werten diese aus. Dabei müssen die Schüler die physikalischen Grundlagen der Experimente, die teilweise in Stoffgebieten früherer Klassen erarbeitet wurden, wiederholen, die Arbeitsschritte für die Durchführung der Experimente weitgehend selbst festlegen und die Arbeitsteilung in der Gruppe organisieren. Somit dient das Praktikum insbesondere auch der Festigung und Vertiefung des Wissens und Könnens der Schüler. Gesamtwiederholung und Praktikum tragen zum Erreichen des Abschnübniveaus von Wissen und Können der Schüler bei und unterstützen somit auch die Vorbereitung auf die Abschnüßprüfung.

Bei der Gesamtwiederholung ist die differenzierte Arbeit mit den Schülern unverzichtbar, da diese sich das zu wiederholende Wissen und Können in unterschiedlicher Qualität angeeignet haben. Des weiteren vollzieht sich die Wiederholung für die einzelnen Schülergruppen im Praktikum an differenzierten Inhalten, abhängig von den Praktikumsexperimenten, die die Schüler durchführen. Wie gesichert werden kann, daß zu einem bestimmten Inhalt alle Schüler auf differenzierten Wegen das Endniveau erreichen, soll am Beispiel der Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Bauelementen aus Messungen von Stromstärke und Spannung sowie der Erläuterung der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes gekennzeichnet werden. Exaktes Wissen und Können zu diesen Inhalten gehört unumstritten zum Grundlegenden, das sich jeder Schüler im Physiklehrgang aneignen muß und das deshalb auch Gegenstand der Gesamtwiederholung sein sollte. Schüler, die das Praktikumsexperiment P4/2 „I-U-Diagramme von Bauelementen“ durchführen, benutzen eine Glühlampe, einen Heißeleiter und einen Festwiderstand, bauen mit diesen Bauelementen eine Experimentieranordnung zur Bestimmung von Stromstärke und Spannung auf, ermitteln die Widerstände der Bauelemente aus den Meßwerten für Spannung und Stromstärke bei verschiedenen starken elektrischen Strömen, stellen bei Glühlampe und Thermistor die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes fest und erläutern diese mit Hilfe eines geeigneten Modells. Diese Schüler können über Durchführung und Ergebnis des Expe-

riments vor jenen Schülern berichten, die dieses Experiment nicht durchgeführt haben. Damit alle Schüler eine Orientierung für die Anforderungen an das Wissen und Können zum genannten physikalischen Inhalt haben, kann der Lehrer auf folgende Aufgaben zur Wiederholung und Übung aus der Elektrizitätslehre (LB, S. 154) aufmerksam machen:

- Nr. 58: Interpretieren der  $I$ - $U$ -Diagramme von elektrischen Bauelementen
- Nr. 59: Zeichnen eines Schaltplans zur Aufnahme von  $I$ - $U$ -Diagrammen von Bauelementen
- Nr. 60: Auswerten von Meßwerttabellen für Stromstärke und Spannung, die an Bauelementen gemessen worden sind
- Nr. 46: Erklären der Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes bei Metallen und Halbleiterbauelementen
- Nr. 48: Erläutern der Anwendung der Temperaturabhängigkeit des Widerstandes eines Halbleiters
- Nr. 5: Experimentelle Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Bauelementen

Je nach dem Entwicklungsstand der Selbstverantwortung der Schüler für die Qualität des angeeigneten Wissens und Könnens genügen dann Hinweise auf diese Aufgaben, oder es ist notwendig, Forderungen zum Bearbeiten dieser Aufgaben an die Schüler zu stellen. In Abhängigkeit vom Stand des Wissens und Könnens einzelner Schüler entscheidet der Lehrer, welche Schüler Aufgaben mit mathematisch-physikalischen Inhalten (z. B. Nr. 58, 60) oder mit Anforderungen an produktive Sprachleistungen (z. B. Nr. 46, 48) erhalten oder welche Schüler in welchem Umfang experimentelle Tätigkeiten wiederholen und üben sollen (z. B. Nr. 5, 59).

Für das Stoffgebiet „Gesamtwiederholung – Praktikum“ wird empfohlen, wie im gesamten Physiklehrgang der selbständigen und angeleiteten Arbeit der Schüler mit dem Lehrbuch, dem Tafelwerk und weiteren Nachschlagewerken (z. B. „Physik in Übersichten“) gebührende Beachtung zu schenken. Insbesondere enthält „Physik in Übersichten“ eine Reihe von Möglichkeiten für die Reaktivierung der Inhalte des Physiklehrgangs.

Da das Stoffgebiet auch der Vorbereitung der Schüler auf die Abschlußprüfung dient, ist es ratsam, nicht nur die Aufgaben zur Wiederholung und Übung aus dem LB, sondern auch Aufgaben der schriftlichen und mündlichen Abschlußprüfung vergangener Schuljahre in den Unterricht einzubeziehen.

Des weiteren sind auch die in der Fachzeitschrift veröffentlichten Artikel zur Vorbereitung der Abschlußprüfung sowie die Folgerungen aus zentralen, im Kreis und an den Schulen erarbeiteten Analysen des Physikunterrichts zu beachten.

### *Planung des Stoffgebietes Gesamtwiederholung – Praktikum*

Gemäß dem Lehrplan ist dieses Stoffgebiet nach der Behandlung des Stoffgebietes „Elektrizitätslehre“ und vor Behandlung des Stoffgebietes „Kernphysik“ durchzuführen. Dadurch ergeben sich verschiedene Möglichkeiten der zeitlichen Anordnung des Praktikums und der Gesamtwiederholung. Sie müssen von jedem Lehrer unter Beachtung der konkreten Situation seiner Abschlußklasse sorgfältig durchdacht und flexibel genutzt werden. Im folgenden werden zwei Varianten dargelegt. Dabei wird davon ausgegangen, daß in der Regel 8 der insgesamt 18 Unterrichtsstunden für das Praktikum genutzt werden.

Monat	1. Variante	2. Variante
Dezember	Neuer Stoff: Hertzsche Wellen Vorbereitung, Durchführung des Praktikums	Neuer Stoff: Hertzsche Wellen Optik (Teil 1)
Januar	Durchführung und Auswertung des Praktikums Wiederholung (4 Std.) Neuer Stoff: Optik (Teil 1)	Wiederholung (5 Std.) Neuer Stoff: Optik (Teil 2)
Februar	Winterferien	
März/April	Wiederholung (6 Std.)  Neuer Stoff: Optik (Teil 2) Kernphysik	Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des Praktikums Wiederholung (5 Std.) Neuer Stoff: Kernphysik
Mai	Schriftliche Abschlußprüfung Neuer Stoff: Kernphysik (Abschluß)	

In beiden Varianten wird davon ausgegangen, daß es zweckmäßig ist, rechtzeitig mit der Gesamtwiederholung zu beginnen. Dazu sollten die Schüler zum selbständigen Reaktivieren der Grundlagen durch das Lösen von Aufgaben veranlaßt werden. Beim Bemessen des Umfangs solcher Aufträge sind auch ähnliche Forderungen in anderen Fächern zu bedenken.

In beiden Varianten werden die Praktikumsexperimente durch die Winterferien nicht unterbrochen. Das Praktikum wird geschlossen entweder vor oder nach den Winterferien durchgeführt. Um die inhaltliche Einheit von Gesamtwiederholung und Praktikum auch organisatorisch zu sichern, ist es möglich, während der Durchführung des Praktikums die dritte Wochenstunde auch für die Wiederholung zu nutzen. Die vor den Winterferien reaktivierten Inhalte können durch differenzierte Aufträge in häuslicher Arbeit von den Schülern weiter gefestigt werden. In den Monaten März und April schließen sich die restlichen Wiederholungsstunden, der Abschluß des Stoffgebietes „Optik“ (bei Variante 1) und die Behandlung der „Kernphysik“ an. Beispielsweise wäre es möglich, wöchentlich zwei Stunden am neuen Stoff zu arbeiten und in einer Stunde aus zurückliegenden Stoffgebieten zu wiederholen. Der zeitliche Abstand der Wiederholungsstunden von einer Woche gestattet es den Schülern, sich ausreichend mit den angekündigten Themen zu beschäftigen.

Wichtig ist, daß die von den Schülern im Rahmen der Gesamtwiederholung bearbeiteten Aufgaben zu einem gestellten Termin auf Vollständigkeit und Richtigkeit überprüft und gegebenenfalls bewertet werden. Über den Umfang solcher Durchsichten und über die Art der Bewertung muß der Lehrer befinden.

Nach der 2. Variante wird das Praktikum erst im März durchgeführt, wodurch sich die Gesamtwiederholung stärker auf den Termin der Prüfungen hin verlagert und die Vorbereitung auf die Abschlußprüfung kompakter verlaufen kann.

## Gesamtwiederholung

Für alle Stoffgebiete der Klasse 10 müssen alle Aspekte der Festigung im Rahmen der verfügbaren Stunden berücksichtigt werden. Die Gebiete Optik und Kernphysik bedürfen wegen ihrer Stellung zum Abschluß des Physiklehrganges keiner gesonderten Wiederholung. Inhalte aus den Stoffeinheiten „Mechanische Schwingungen“, „Wechselstrom“ und „Schwingkreis“ der Klasse 10 erfahren eine Reaktivierung im Praktikum.

Grundlegender Stoff der Klassen 6 bis 9 kann zu einem Teil durch immanentes Wiederholen und durch gut geplante tägliche Übungen reaktiviert werden. Allerdings sind diesem Vorgehen Grenzen gesetzt, und es kann eine systematische Wiederholung von Grundlagen nicht ersetzen. Deshalb sollten sich die Wiederholungsstunden hauptsächlich auf Stoff der Klassen 6 bis 9 beziehen. Bei der Gestaltung solcher Stunden dürfen weder das erneute Untersuchen, Definieren und Hinführen zu bereits behandelten Begriffen, Gesetzen usw. noch das Erkunden und Erarbeiten neuer Anteile von Wissen und Können (Lehrplanausweitung) vorgenommen werden. Vielmehr gilt es, mit kürzestem Zeitaufwand Wesentliches zu reaktivieren und dazu den Schülern Aufträge für selbständige Arbeit zu erteilen. Der Wiederbereitstellung von Wissen dienen Vorträge und die Benutzung aller Wissensspeicher. Die methodische Gestaltung muß auf vorstehendes Reproduzieren von Wissen, auf dessen Anwendung beim Beschreiben, Erläutern, Voraussagen, Erklären, Begründen, Berechnen, Bestimmen physikalischer Sachverhalte sowie auf Transferieren und Systematisieren gerichtet sein. Dabei kommt der Veranschaulichung durch Tafelbild, Folie, Dias, Modelle und Experimente große Bedeutung zu. Werden zur Gesamtwiederholung Demonstrations- und Schülerexperimente eingesetzt, so müssen sich diese auf einfache Experimentieranordnungen und auf wenig zeitaufwendige Vorgänge begrenzen. Sie sind u. a. zu nutzen, um die Schüler zu bewußter Beobachtung und zum Beschreiben und Erklären von Sachverhalten zu veranlassen. Schülerexperimente sollten ausschließlich der weiteren Festigung solcher experimenteller Handlungen der Schüler dienen, die im Physiklehrgang mehrfach ausgeführt wurden. Neue Schülerexperimente sind nicht vorgesehen.

Für das Bestimmen des Inhalts der Wiederholungsstunden wird empfohlen, das Thema auf Anteile eines Stoffgebietes bzw. auf eine Stoffeinheit zu beschränken und daran grundlegende Schülertätigkeiten zu wiederholen. Auch stoffgebietsübergreifende Betrachtungen sind durch Vergleichen und Systematisieren in gewissem Umfange möglich. Dafür wird nachfolgend ein Beispiel (Mathematische Verfahren im Physikunterricht) ausgeführt.

Werden in inhaltsorientierten Wiederholungsstunden bestimmte Denk- und Arbeitsweisen schwerpunktmäßig wiederholt und gefestigt (z. B. mathematische Verfahren bei der Wiederholung der Kinematik und Dynamik), so muß darauf geachtet werden, daß bei stoffübergreifenden Wiederholungen nicht die gleichen Denk- und Arbeitsweisen im Mittelpunkt stehen. Sind mathematische Verfahren bereits im Zusammenhang mit der Mechanik wiederholt worden, wäre eine Querschnittsthematik „Mathematische Verfahren“ nicht angebracht. Sinnvoller wäre dann z. B. die Querschnittsthematik „Arbeit mit Modellen“, wobei solche aus der Mechanik, der Thermodynamik, der Elektrizitätslehre, der Optik und der Kernphysik ausgewählt werden können. Unter den konkreten Bedingungen einer Schulklasse und bei gründlicher Analyse von Wissen und Können der betreffenden Schüler können die Auswahl des Inhaltes und die Art der Gestaltung der Wiederholungsstunden sehr unterschiedlich ausfallen. Der große zeitliche Abstand zur Erstvermittlung bestimmter Stoffabschnitte und die begrenzte immanente Wiederholung lassen jedoch Vorschläge und erste Anregungen für den Gegenstand der Wiederholung sinnvoll erscheinen.

Zur Unterstützung des Lehrers für die Auswahl geeigneter Wiederholungsaufgaben erfolgen Verweise auf das Lehrbuch. Es ist nicht möglich, alle Aufgaben aus dem Lehrbuch in die Wiederholung einzubeziehen. Bei der Auswahl ist es aber nötig, darauf zu achten, daß ein

breites Spektrum von Aufgaben (qualitative Aufgaben, Aufgaben technischen Inhalts usw.) zur Gesamtwiederholung eingesetzt wird. Jedoch erschöpft sich diese nicht im Lösen von Aufgaben, sondern umfaßt weitere methodische Maßnahmen, wie Vorträge des Lehrers und der Schüler, Gespräche und Diskussionen, Demonstrationsexperimente.

## *Empfehlungen zur Gestaltung der Wiederholungsstunden*

### **Thermodynamik**

Da die Behandlung dieses Stoffgebietes zweieinhalb Jahre zurückliegt, ist es besonders dringend, die Schwerpunkte des Wissens und Könnens in den Unterrichtsstunden und einigen Hausaufgaben zu reaktivieren. Durch die Wiederholungsaufgaben zur Thermodynamik (LB, S. 149 ff.) werden die Schüler über wichtige Anforderungen informiert. Als Orientierungsgrundlage sollten „Physik in Übersichten“, das Lehrbuch Physik Klasse 8 und die Mitschriften der Schüler herangezogen werden.

#### **Gegenstand der Wiederholung**

sind

- die Größen Temperatur, thermische Energie und Wärme (Nr. 1 bis 5);
- die Gleichung zum Berechnen der Wärme, deren Interpretation und Anwendung beim Lösen von Aufgaben zur Energieübertragung (Nr. 10 bis 17);
- das Gesetz der Längenänderung fester Körper und dessen Anwendung zum Erklären einfacher Vorgänge (Nr. 6, 7, 8, 9);
- die Umwandlungstemperaturen und -wärmern von Wasser und deren Bedeutung in Natur und Technik (Nr. 18, 19, 20, 21);
- der Aufbau und die Arbeitsweise des Viertakt-Ottomotors (Nr. 22 bis 26).

#### **Unterrichtsmittel**

Spiritus

Metallkörper ( $m = 500 \text{ g}$ )

Zentraluhr

Modell Viertakt-Ottomotor

SEG „Kalorik“

#### **Schwerpunkte und Hinweise**

##### **Temperatur, thermische Energie, Wärme**

Nach der Wiederholung und Systematisierung der Formelzeichen, Einheiten und physikalischen Bedeutung der Größen Temperatur, thermische Energie und Wärme sollten die Temperatur und die thermische Energie mit der Vorstellung vom Teilchenaufbau der Stoffe gedeutet werden. Im Zusammenhang mit diesen Größen könnte der 1. Hauptsatz der Thermodynamik wiederholt und an einem Beispiel erläutert werden.

##### **Gleichung zum Berechnen der Wärme**

Ausgegangen werden kann vom Einfluß großer Seen auf das Binnenklima eines Landschaftsgebietes. Die physikalische Bedeutung der spezifischen Wärmekapazität sollte genannt und die Gleichung zur Berechnung der Wärme interpretiert werden.

## Energieübertragung durch Wärme

Es könnte der Auftrag zu einem Demonstrationsexperiment erteilt werden (nach Vorschlag 1 oder nach Vorschlag 2). Beim Erfüllen des Auftrages wäre es den Schülern möglich, das Experiment zu planen und durchzuführen, die Gleichung zur Berechnung der Wärme anzuwenden und das Resultat bei Beachten möglicher Meßfehler zu werten.

**Vorschlag 1:** Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität von Spiritus.

**Mögliche Ausführung:** In einem Erlenmeyerkolben werden 0,2 kg Wasser bereitgestellt, und es wird die Anfangstemperatur gemessen. Der Kolben wird auf einer gut vorgeheizten Stativheizplatte 1 min erwärmt. Der Kolben wird von der Heizplatte genommen, und es wird die Endtemperatur bestimmt. Die vom Wasser aufgenommene Wärme wird berechnet ( $Q = c_w \cdot m_w \cdot \Delta T_w$ ). Die Handlungen werden mit 0,2 kg Spiritus wiederholt. Aus der Annahme, daß die Menge Spiritus ebensoviel Wärme aufnahm wie zuvor das Wasser, läßt sich berechnen  $c_{SP} = \frac{Q}{m_{SP} \cdot \Delta T_{SP}}$ . Der Vergleich mit dem Tabellenwert und eine Diskussion möglicher Fehler lassen sich anschließen.

**Vorschlag 2:** Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität eines Metalls.

**Mögliche Ausführung:** In einem Becherglas (400 ml) werden 0,2 kg Wasser bei Zimmertemperatur bereitgestellt, und es wird die Anfangstemperatur gemessen. Ein Metallkörper (z. B. ein Wägestück aus Eisen mit  $m = 0,5$  kg) wird in heißes Wasser (ca. 60 °C) gehängt. Nach etwa 3 min wird die gemeinsame Temperatur von Wasser und Metallkörper gemessen. Der Festkörper wird nun schnell in das bereitstehende kalte Wasser eingetaucht, und es wird die Mischtemperatur bestimmt. Berechnet wird die vom kalten Wasser aufgenommene Wärme  $Q = c_w \cdot m_w \cdot \Delta T_w$ . Unter der Annahme, daß die vom Metallkörper abgegebene Wärme gleichviel beträgt, läßt sich  $c_{\text{Metall}} = \frac{Q}{m_{\text{Metall}} \cdot \Delta T_{\text{Metall}}}$  berechnen. Es folgen der Vergleich mit dem Tabellenwert und eine Diskussion möglicher Fehler.

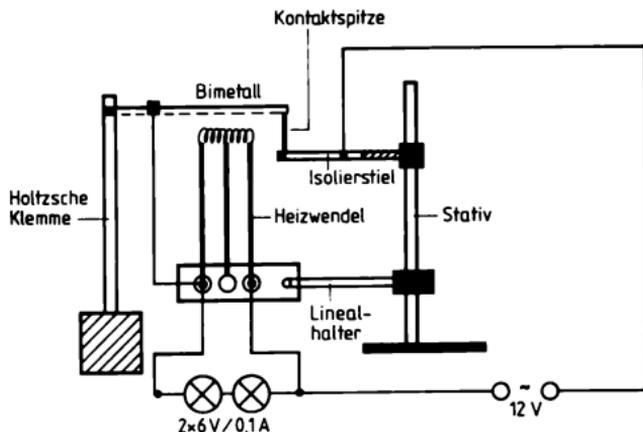


Bild 28 Experimentieranordnung

## Längenänderung fester Körper

Den Schülern könnte folgende Regleranordnung vorgeführt werden (Bild 28):

Den Vorgang sollten die Schüler weitgehend selbständig beobachten, beschreiben und erklären. Die Gleichung der Längenänderung kann dem Tafelwerk entnommen, interpretiert und in Aufgabe Nr. 7 LB, S. 150. angewendet werden.

## Aggregatzustandsänderung

Anhand der Folie, Bild 29, können die Bezeichnungen der zu- und abgeführten Wärmen, der Vorgänge und der Umwandlungstemperaturen bei Wasser reaktiviert werden. Den Schülern könnte das Problem gestellt werden: Welcher Endzustand wird erreicht, wenn man 0,1 kg Wasser von 50 °C mit 0,1 kg Eis von 0 °C mischt? Die Schüler sollen ihre Aussage begründen. Es ist ihnen möglich, durch Rechnung vorauszusagen, daß theoretisch 0,037 kg Eis ungeschmolzen bleiben müssen. Methodisch ist besonders wirksam, die Voraussage mit einer Demonstration zu überprüfen.

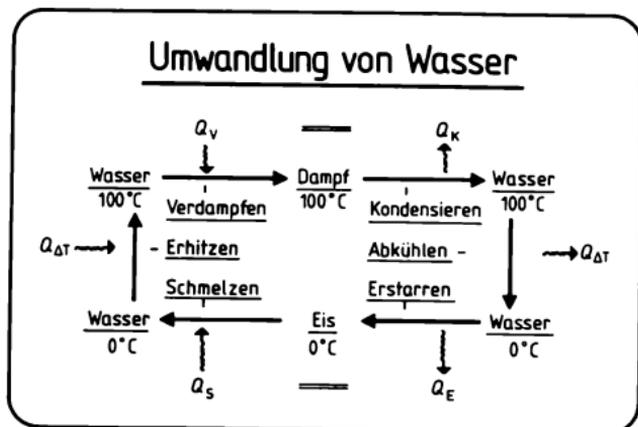


Bild 29 Folie  
zu Umwandlungstempe-  
raturen von Wasser

## Viertakt-Ottomotor

Zur Konzentration auf das Wesentliche könnten die Schüler durch Lösung der Aufgaben Nr. 22 bis 24 veranlaßt werden. Für die Erläuterungen wird ein Modell (Schnitt- oder Flachmodell) zur Verfügung gestellt.

## Kinematik und Dynamik

Ein geringer Anteil der Kenntnisse der Schüler aus der Mechanik konnte bei der Behandlung der Stoffeinheiten „Gravitation“, „Mechanische Schwingungen“ und „Mechanische Wellen“ immanent wiederholt werden. Die große Bedeutung der Kinematik und Dynamik für technische Prozesse ist Anlaß, diese Stoffeinheiten besonders gründlich zu reaktivieren und zu festigen. Dafür eignen sich die Praktikumsexperimente zum ersten Aufgabenkomplex. Es wird empfohlen, die ersten Wiederholungsstunden im Monat Januar der Mechanik zu widmen und auch eine langfristige Hausaufgabe bis März zu erteilen. Die Aufgaben im LB, S. 146 ff., Nr. 1 bis 31, orientieren die Schüler auf Schwerpunkte zur Wiederholung der Kinematik und Dynamik.

## Gegenstand der Wiederholung

sind

- einfache kraftumformende Einrichtungen (Nr. 2, 3, 19);
- Diagramme und Meßwertreihen zur gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegung (Nr. 1, 4 bis 10);

- die Anwendung der Gesetze der Kinematik und Dynamik zum Lösen von Aufgaben (Nr. 11 bis 31);
- das Gesetz von der Erhaltung der Energie zum Erklären mechanischer Vorgänge und zum Berechnen physikalischer Größen (Nr. 32 bis 35).

Unterrichtsmittel

SEG Praktikumsausstattung

Reifenapparat  
Schienenwagen  
Polydigit  
Zentraluhr  
Wurfgerät

Schwerpunkte und Hinweise

**Auswertung von Diagrammen und Tabellen**

Den Schülern können Diagramme von Bewegungen anhand der Folie, Bild 30, oder der Folie „Bewegungsarten“ gezeigt werden. Beim Interpretieren sollte darauf geachtet werden, daß die Aussagen über Abhängigkeiten, Proportionalitäten und Bewegungen begründet werden. Beim Auswerten der in den Tabellen erfaßten Meßwerte kann gefestigt werden, wie sich die Abhängigkeit durch Rechnung bestätigen läßt ( $s \sim t$ ,  $\frac{s}{t} = \text{konstant}$  usw.).

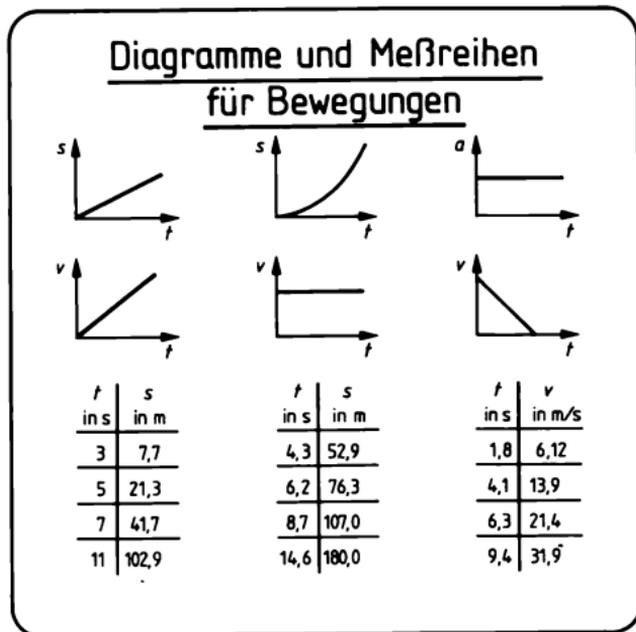


Bild 30 Folie  
für Diagramme und Meß-  
reihen für Bewegungen

## Untersuchung einer speziellen Bewegung

Für die Untersuchung einer speziellen Bewegung wird eine Experimentieranordnung empfohlen, die beim Erarbeiten in der Klasse 9 nicht eingesetzt wurde, z. B. Reifenapparat, geneigte Ebene. Sollten diese Wiederholungsstunden vor dem Praktikum liegen, so ist der Einsatz des Drehgerätes aus der Praktikumsausstattung anzuraten, weil die Schüler dadurch einen ersten Hinweis auf ihr selbständiges Arbeiten mit diesem Gerät im Praktikum erhalten. Die experimentelle Untersuchung könnte folgendermaßen durchgeführt werden:

*Vorschlag 1:* Auf den zu bewegendem Körper wirkt eine konstante beschleunigende Kraft. Die Zentraluhr gibt in gleichen Abständen ein Signal. Die Stellung des bewegten Körpers (z. B. des Fähnchens) wird gekennzeichnet. Die zu den vorgegebenen Zeiten gemessenen Wege zeigen, was  $s \sim t^2$  bedeutet. Aus den Werten von Weg und Zeit werden die Beschleunigung und die Augenblicksgeschwindigkeiten berechnet.

*Vorschlag 2:* Auf den zu bewegendem Körper wirkt eine konstante beschleunigende Kraft. Zu vorgegebenen Wegen werden die Zeiten gemessen (z. B. mit der Zentraluhr). Bei der Auswertung werden  $\frac{s}{t^2}$ , die Beschleunigung und die Augenblicksgeschwindigkeiten berechnet.

## Gesetze der Dynamik

Die Schüler sollen dazu angehalten werden, die Gesetze der Dynamik zu nennen und an selbstgewählten Beispielen zu erläutern. Daran anschließend könnte das Grundgesetz der Dynamik experimentell bestätigt werden. Dazu ist möglichst eine Anordnung zu verwenden, die im Unterricht bisher nicht verwendet wurde (z. B. Schienenwagen). Geschieht die Wiederholung vor dem Praktikum, so ist ebenfalls die Nutzung der Praktikumsausstattung anzuraten, weil dadurch erste Hinweise auf den Umgang mit diesen Geräten im Praktikum gegeben werden können. Die Untersuchung könnte folgendermaßen geführt werden:

*Vorschlag 1:* Auf den Wagen mit der Masse  $m$  wirkt eine konstante beschleunigende Kraft  $F$ . Zu einem vorgegebenen Weg wird die Zeit gemessen und daraus die Beschleunigung berechnet, schließlich wird das Produkt  $m \cdot a$  gebildet und mit der Kraft  $F$  verglichen.

*Vorschlag 2:* Auf den Wagen wirkt eine konstante beschleunigende Kraft  $F$ . Aus Weg und Zeit wird die Beschleunigung bestimmt. Dann wird der Quotient  $\frac{F}{a}$  berechnet. Schließlich wird der Wagen gewogen, und es wird der Quotient  $\frac{F}{a}$  mit der auf der Waage gemessenen Masse verglichen.

*Vorschlag 3:* Aus der bekannten Masse, der konstanten beschleunigenden Kraft und einem zurückzulegenden Weg  $s$  wird die erforderliche Zeit berechnet und mit dem experimentellen Wert verglichen.

Danach könnten den Schülern zwei Vorgänge vorgeführt werden, die zu beschreiben und zu erklären sind:

a) Zwei Wagen stehen etwa 30 cm hintereinander, mit einer Schnur verbunden. Nun wird am ersten Wagen gezogen und dann plötzlich gebremst, wodurch der zweite Wagen auf den ersten auffährt (Modell für das Abschleppen eines Pkw mit defekten Bremsen).

b) An ein Wägestück (ca. 1 kg) wird ein dünner Faden geknüpft. Zunächst wird der Körper am Faden langsam senkrecht hochgezogen, beim zweitenmal wird ruckartig gezogen, wobei der Faden reißt.

## Mechanische Energie

Vom allgemeinen Energieerhaltungssatz aus sollten die Schüler die Spezialisierung auf den Erhaltungssatz der Energie für reibungsfreie mechanische Vorgänge vornehmen.

Am Schwingen und Fallen eines Körpers könnte der Erhaltungssatz erläutert werden. Anschließend wäre die Anwendung des Erhaltungssatzes beim senkrechten Wurf nach oben an-

gebracht. Dazu könnte eine Kugel mit dem Wurfgerät senkrecht nach oben geschossen werden. Aus der Wurfhöhe ließe sich die Abwurfgeschwindigkeit errechnen.

### Gleichstromkreis und statische Felder

Obwohl davon ausgegangen werden kann, daß sich bei den Schülern die Grundlagen der Elektrizitätslehre in den Klassen 9 und 10 verfestigt haben, ist ein systematisches Wiederholen der Gesetze des Gleichstromkreises sowie das Beschreiben und Anwenden statischer Felder ratsam. Die Aufgaben im LB, S. 151, Nr. 1 bis 21, geben für die Wiederholung eine geeignete Orientierung. Diese Aufgaben sollten zu einem Teil in die Wiederholungsstunde einbezogen werden, überwiegend sollten sie jedoch als Wegleitung für das selbständige Reaktivieren in den Hausaufgaben dienen.

#### Gegenstand der Wiederholung

sind

- Aufgaben zum unverzweigten und zum verzweigten Stromkreis (Nr. 1 bis 17);
- Möglichkeiten des Nachweises statischer Felder (Nr. 18, 19, 20);
- die Arbeitsweise des Gleichstrommotors (Nr. 21).

#### Unterrichtsmittel

Aufbausatz zur Elektrizitätslehre  
Gerätesatz Elektrostatik

Generator-Motor-Modell  
Influenzmaschine

#### Schwerpunkte und Hinweise

##### Gesetze im Gleichstromkreis

Zu den Größen  $I$ ,  $U$ ,  $R$  und  $P_{el}$  wird empfohlen, die Einheiten, die physikalische Bedeutung und die Gleichungen zur Berechnung zu systematisieren und, soweit in Klasse 8 behandelt, die Deutung im Modell der Elektronenleitung zu wiederholen. Anschließend sollte der elektrische Widerstand eines Bauelements (z. B. Spule mit 1 500 Windungen, in einer Schülerdemonstration) bestimmt werden. Schließlich können die Gesetze des unverzweigten und des verzweigten Stromkreises dem Tafelwerk entnommen werden. Dazu wird empfohlen, den Schülern über das Tafelbild folgende Aufgaben zu stellen:

Unverzweigter Stromkreis:

$I$ in A	$U_1$ in V	$U_2$ in V	$U$ in V	$R_1$ in $\Omega$	$R_2$ in $\Omega$	$R$ in $\Omega$
	32		48		4	

Verzweigter Stromkreis:

$I_1$ in A	$I_2$ in A	$I$ in A	$U$ in V	$R_1$ in $\Omega$	$R_2$ in $\Omega$	$R$ in $\Omega$
	4		16	2		

Die Schüler sollten die Aufgaben mündlich lösen, den Lösungsweg kommentieren und ihr Vorgehen begründen.

Im Anschluß daran wäre es möglich, das folgende Demonstrationsexperiment vorzuführen. Dabei werden zwei Stromkreise mit je zwei Glühlampen demonstriert (Grundbretter, Leitungen und Spannungsquelle sind verdeckt). Den Schülern wird mitgeteilt: Der eine Stromkreis enthält zwei in Reihe geschaltete Glühlampen, der andere Stromkreis zwei parallel geschaltete Glühlampen. Alle Glühlampen sind gleich. An jedem Stromkreis liegt die gleiche Spannung.

Die Schüler sollen die Helligkeit der Glühlampen im ersten Stromkreis mit der Helligkeit der Glühlampen im zweiten Stromkreis vergleichen und angeben, in welchem Falle eine Reihenschaltung bzw. eine Parallelschaltung vorliegt. Die Aussagen sind mit den Gesetzen zu begründen.

### **Statische Felder**

Nach Vorführung des elektrischen Glockenspiels gemäß Anleitung zum Gerätesatz Elektrostatik, Experiment 2.4.3., sollen die Schüler den Vorgang selbständig beschreiben und erklären. Es wird empfohlen, mit den Schülern den Nachweis des Magnetfeldes einer vom Gleichstrom durchflossenen Spule zu erörtern. Des weiteren bietet es sich an, einen Elektromagneten zu demonstrieren und die Abhängigkeit der Stärke des Magnetfeldes von der Erregerstromstärke und vom Medium in der Spule nachzuweisen. Der Aufbau könnte gemäß Anleitung zum Aufbausatz zur Elektrizitätslehre, Experiment 2.3.4. oder 2.3.5., mit zwei verschiedenen Stromstärken und zwei verschiedenen Medien erfolgen.

### **Gleichstrommotor**

Ausgehend von der Bedeutung der Elektromotoren für den Einzelantrieb von Maschinen und Geräten können die Schüler aufgefordert werden, Aufbau und Arbeitsweise eines Gleichstrommotors zu beschreiben und zu erklären. Dabei kann die Arbeitsweise an einem Modell demonstriert werden. Der einfache Aufbau mit permanenten Magneten im Stator ist zu empfehlen.

### **Elektromagnetische Induktion**

Die Erstvermittlung erfolgte im ersten Schuljahresdrittel der Klasse 9, eine immanente Wiederholung und Anwendung in der Stoffeinheit „Wechselstrom“ der Klasse 10. Auch die Praktikumsexperimente P 2/1, P 2/3, P 3/3 tragen zur Festigung bei. Bei der Wiederholung gilt es, die Kenntnisse zu systematisieren und für Erklärungen von Sachverhalten bereitzustellen. Die Information über die Anforderungen erhalten die Schüler durch die Aufgaben im LB S. 152, Nr. 22 bis 39.

Gegenstand der Wiederholung

sind

- das Induktionsgesetz, das Lenzsche Gesetz und deren Anwendung zum Erklären grundlegender Vorgänge (Nr. 22 bis 25);
- Aufbau und Wirkungsweise von Transformator und Generator (Nr. 26 bis 35);
- die Selbstinduktion (Nr. 36 bis 39).

Unterrichtsmittel

Aufbausatz zur Elektrizitätslehre  
Gleitwiderstand (etwa  $14 \Omega/5 \text{ A}$ )  
1 Wagen

## Schwerpunkte und Hinweise

### Induktionsgesetz und Lenzsches Gesetz

Die Reaktivierung ließe sich mit einer Experimentieranordnung nach Aufgabe Nr. 23 vornehmen (Spule 1 mit  $N = 750$ , Spule 2 mit  $N = 1500$ , Strommesser mit Meßbereich 3 A, Spannungsmesser mit Meßbereich 1 V oder kleiner). Durch Demonstrationen sollte den Schülern folgendes wieder bewußt werden:

– Die Bedingung für das Entstehen von Induktionsspannung:

Das von Spule 2 umschlossene Magnetfeld muß sich ändern. Möglichkeiten, diese Bedingung zu erfüllen: Geeignete Relativbewegung, Änderung des Erregerstromes oder Änderung des Kernmaterials.

– Wovon hängt der Betrag der Induktionsspannung ab?

a) Von der Schnelligkeit der Änderung. Schneller heißt entweder „größere Änderung in derselben Zeit“ (z. B.  $\Delta I_{\text{err}} = 1 \text{ A}$  und  $\Delta I_{\text{err}} = 2 \text{ A}$  beim Ein- und Ausschalten von Gleichstrom) oder „dieselbe Änderung in kürzerer Zeit“ (z. B.  $\Delta I_{\text{err}} = 1 \text{ A}$  langsam oder schnell vollziehen, Relativbewegung langsam oder schnell ausführen).

b) Von der Windungszahl der Induktionsspule (z. B. Spule 2 mit  $N = 500, 1000, 1500$ ).

– Welche Richtung hat der Induktionsstrom?

Es sollte an zwei Vorgängen beschrieben werden, daß der Induktionsstrom sowie sein Magnetfeld der Ursache, d. h. der Änderung des Feldes in Spule 2, entgegenwirken.

Parallel zur Demonstration oder im Anschluß daran könnte die Systematisierung der Kenntnisse mit der Folie, Bild 31, vorgenommen werden.

## Die elektromagnetische Induktion

Bedingung für Induktionsspannung:	Änderung des Magnetfeldes in der Induktionsspule
Möglichkeiten:	Relativbewegung Änderung der Erregerstromstärke Änderung des Kerns
Betrag der $U_{\text{ind}}$ ist abhängig von:	Schnelligkeit der Änderung des Magnetfeldes Windungszahl
Richtung vom $I_{\text{ind}}$ :	Gegen die Ursache seiner Entstehung
Anwendungen:	Generator Transformator

Bild 31 Folie zur elektromagnetischen Induktion

## **Beispiele für das Auftreten der elektromagnetischen Induktion**

Besonders geeignet ist die Demonstration des Ringexperimentes gemäß Anleitungsheft zum Aufbausatz zur Elektrizitätslehre, Experiment 2.5.5., weil es auch die Schrittfolge beim Erklären (Gesetze nennen, Bedingungen auführen, Schlußfolgerung ziehen) zu wiederholen gestattet.

Des weiteren könnten ein Generator (Modell mit Handantrieb) und ein Transformator (Modell eines Schweißtransformators) als Beispiele demonstriert und mit den wiederholten Grundaussagen zur elektromagnetischen Induktion in Verbindung gebracht werden. Die ausführliche Beschreibung und Erklärung von Aufbau und Wirkungsweise sollten als Hausaufgabe gestellt werden.

## **Selbstinduktion**

Nach dem Herausarbeiten des Unterschiedes zwischen Induktion und Selbstinduktion könnte das Experiment nach Aufgabe Nr. 38 vorgeführt werden. Die Schüler sollten ihre Beobachtungen beschreiben und erklären.

## **Elektrische Leitungsvorgänge**

Die Erstvermittlung fand in der ersten Hälfte der Klasse 9 statt. Über das zum Abschluß in Klasse 10 wesentliche Wissen und Können informieren die Aufgaben im LB, S. 153 f., Nr. 40 bis 60. Die Durchführung des Praktikumsexperimentes P 4/2 trägt zur Festigung bei.

Gegenstand der Wiederholung

sind

- das Gemeinsame aller elektrischen Leitungsvorgänge hinsichtlich Voraussetzungen und Verlauf (Nr. 40, 41, 42, 45, 46, 58 bis 60),
- Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung von Elektronenstrahlröhre, Halbleiterdiode, Thermistor und Bipolartransistor (Nr. 43, 44, 47, 48, 49 bis 57).

Unterrichtsmittel

Demonstrationsoszillograph

SEG Halbleiter

Schwerpunkte und Hinweise

### **Zu den Grundlagen der elektrischen Leitungsvorgänge**

Nachdem die Voraussetzungen für alle Leitungsvorgänge genannt wurden, sollten die Möglichkeiten der Bereitstellung wanderungsfähiger Ladungsträger in verschiedenen Medien erörtert werden. Ein Unterrichtsgespräch über den Verlauf aller Leitungsvorgänge kann bis zum Begriff des elektrischen Widerstandes und dessen Temperaturabhängigkeit geführt werden. Für Metall und Halbleiter sollten die  $I$ - $U$ -Diagramme (Eigenerwärmung) und die  $I$ - $\theta$ -Diagramme interpretiert werden, wobei die Bezugnahme auf das Praktikumsexperiment P 4/2 empfohlen wird.

### **Elektronenstrahlröhre**

Wenn zu „Aufbau der Elektronenstrahlröhre“ keine Anschauungstafel vorhanden ist, könnte nach dem Lehrbuch Physik, Klasse 9, eine Folie angefertigt werden. Die Schüler sollen den Aufbau der Röhre beschreiben und ihre Wirkungsweise erklären. Die Strahlerzeugung, die Änderung der Helligkeit und der Schärfe des Bildpunktes sowie die Ablenkung des Elektro-

nenstrahles könnten mit dem Oszillographen oder mit dem Modell der Braunschen Röhre demonstriert werden. Die gezeigten Resultate bzw. die vorgeführten Änderungen sollten von den Schülern erklärt werden.

### Halbleiterdiode

Der Aufbau von n- und p-Halbleitern könnte an der Tafel unter Verwendung von Applikationen veranschaulicht werden. Daraus ließe sich leicht der Zustand einer Halbleiterdiode bei Durchlaß- und Sperrichtung entwickeln. Die Vorgänge sollten im  $I$ - $U$ -Diagramm veranschaulicht werden. Die theoretisch erfaßten Verhaltensweisen können experimentell geprüft werden. Dazu ließen sich die in der Aufgabe Nr. 51 beschriebenen Fälle demonstrieren (Diode aus dem SEG Halbleiter, Spannung etwa 6 V, Lastwiderstand 5,1 k $\Omega$ , Y-Eingang am Oszillographen „direkt“). Abschließend kann die Glättung der pulsierenden Gleichspannung gezeigt werden ( $C = 20 \mu\text{F}$  parallel zum Lastwiderstand). Werden die Schüler zum Begründen der Oszillogramme angehalten, so wenden sie ihre Kenntnisse über die Elektronenstrahlröhre an.

### Transistor

Es kommt auf die Beschreibung des Aufbaues, die Demonstration der Emitterschaltung und das Bestimmen der Stromverstärkung an.

Eine mögliche Schaltung ist in Aufgabe Nr. 55 vorgeschlagen. Man könnte sie so realisieren: SC 236, Festwiderstand 100  $\Omega$ ,  $U_{CE}$  etwa 6 V, im Kollektorkreis Meßbereich 100 mA, mit einem zweiten Stromversorgungsgerät die  $U_{BE}$  über ein Potentiometer zwischen 0 V bis etwa 1 V einstellbar, im Basiskreis Meßbereich 1 mA. Demonstriert werden sollten:

- die Zustände nach Aufgabe Nr. 55
- die Steuerung des  $I_C$  durch den  $I_B$ ,
- die  $I_C$ -Werte für  $I_B = 0,5 \text{ mA}$  und  $I_B = 1,0 \text{ mA}$ , woraus sich die Stromverstärkung leicht errechnen läßt.

### Mathematische Verfahren im Physikunterricht

Es ist zu empfehlen, den Schülern in einer stoffgebietsübergreifenden Darstellung Schwerpunkte der mathematischen Verfahren bewußtzumachen, die sie im Physiklehrgang kennengelernt haben und die sie zum Abschluß beherrschen sollen.

#### Gegenstand der Wiederholung

sind

- das Anlegen und Interpretieren von Diagrammen (Mechanik Nr. 1, 5, 8, 10, 24, 51; Thermodynamik Nr. 19; Elektrizitätslehre Nr. 27, 58, 60);
- das Interpretieren von Gleichungen (Mechanik Nr. 16, 30, 32, 36, 44; Thermodynamik Nr. 6, 10; Elektrizitätslehre Nr. 2, 14, 63, 67, 72);
- das Untersuchen von Zusammenhängen im Experiment und das Bestätigen von Proportionalitäten (Mechanik Nr. 4, 6, 46);
- das kalkülmäßige und inhaltliche Lösen von Aufgaben (Mechanik Nr. 13, 14, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 29, 34, 35, 38; Thermodynamik Nr. 7, 11, 12, 16; Elektrizitätslehre Nr. 7, 16, 33, 34, 62, 68, 81).

#### Schwerpunkte und Hinweise

##### Arbeiten mit Diagrammen

Dazu könnte der Auftrag erteilt werden: Stellen Sie die Abhängigkeit der Stromstärke vom elektrischen Widerstand grafisch dar!

R in $\Omega$	15	30	45	60	75
I in A	3,0	1,5	1,0	0,75	0,60

Im Gespräch mit dem Schüler könnte beraten werden:

Der Maßstab für die Achseneinteilung, die Bezeichnung der Achsen (Formelzeichen, Einheiten), das Verbinden der Meßpunkte. Was heißt: Eine Größe hängt von einer anderen ab? Welche spezielle Abhängigkeit liegt hier vor? Begründen Sie Ihre Aussage!

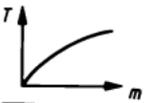
Interpretieren von Diagrammen I													
Mathematische Formulierung von Zusammenhängen													
Diagramm	Abhängigkeit vermutlich	Tabelle	Bestätigung der Abhängigkeit										
	$a - F$	<table border="1"> <tr> <td>F</td> <td>a</td> </tr> <tr> <td>in N</td> <td>in m·s<sup>-2</sup></td> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>0,3</td> <td>1,5</td> </tr> </table>	F	a	in N	in m·s <sup>-2</sup>	0,1	0,5	0,2	1,0	0,3	1,5	$\frac{a}{F} = \text{konst.}$
F	a												
in N	in m·s <sup>-2</sup>												
0,1	0,5												
0,2	1,0												
0,3	1,5												
	$s - t^2$	<table border="1"> <tr> <td>t</td> <td>s</td> </tr> <tr> <td>in s</td> <td>in m</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>48</td> </tr> </table>	t	s	in s	in m	1	3	3	27	4	48	$\frac{s}{t^2} = \text{konst.}$
t	s												
in s	in m												
1	3												
3	27												
4	48												
	$I - \frac{1}{R}$	<table border="1"> <tr> <td>R</td> <td>I</td> </tr> <tr> <td>in <math>\Omega</math></td> <td>in A</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>3,0</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>0,75</td> </tr> </table>	R	I	in $\Omega$	in A	15	3,0	30	1,5	60	0,75	$I \cdot R = \text{konst.}$
R	I												
in $\Omega$	in A												
15	3,0												
30	1,5												
60	0,75												
	$T - \sqrt{m}$	<table border="1"> <tr> <td>m</td> <td>T</td> </tr> <tr> <td>in kg</td> <td>in s</td> </tr> <tr> <td>0,05</td> <td>0,31</td> </tr> <tr> <td>0,10</td> <td>0,44</td> </tr> <tr> <td>0,15</td> <td>0,54</td> </tr> </table>	m	T	in kg	in s	0,05	0,31	0,10	0,44	0,15	0,54	$\frac{T}{\sqrt{m}} = \text{konst.}$
m	T												
in kg	in s												
0,05	0,31												
0,10	0,44												
0,15	0,54												

Bild 32 Folie  
Interpretieren von  
Diagrammen I

Anhand der Folie, Bild 32, ließe sich eine Systematisierung wichtiger mathematischer Zusammenhänge vornehmen. Es sollte mit den Schülern auch das Auswerten von Diagrammen vorgenommen werden, bei denen sich ein mathematischer Zusammenhang nicht angeben läßt. Beispiele finden sich in der Folie, Bild 33.

### Arbeiten mit Gleichungen

An Beispielen sollte das Interpretieren von Gleichungen geübt werden. Mögliche Gleichungen sind:  $F = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ ,  $F_r = m \cdot \frac{4\pi^2 \cdot r}{T^2}$ ,  $a = \frac{F}{m}$ ,  $v = \frac{2\pi \cdot r}{T}$ ,  $E_{\text{kin}} = \frac{m}{2} v^2$ . Anschließend

könnte das Planen experimenteller Untersuchungen an den Zusammenhängen  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ ,

$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ ,  $I = U \cdot 2\pi \cdot f \cdot C$  geübt werden. Dabei sollte so vorgegangen werden, wie es bereits in Physik Klasse 8 eingeführt wurde.

Interpretieren von Diagrammen II  
Auswerten von Diagrammen

Diagramm	Was läßt sich ablesen ?
	Phys. Größen, Einheiten ... Wertepaare ... Abhängigkeit... von ... Tendenz ... Ohmsches Gesetz gilt oder...? R konstant oder...?
	?
	?
	?

Bild 33 Folie  
Interpretieren von  
Diagrammen II

### Lösen von mathematisch-physikalischen Aufgaben

Es dürfte ausreichen, sowohl das kalkülmäßige Lösen (z. B. Mechanik Nr. 25) als auch das inhaltliche Lösen (z. B. Mechanik Nr. 26) an je einer Aufgabe bewußt zu machen.

## Physikalisches Praktikum

Die in den Unterrichtshilfen der Klasse 9 mit den Vorbemerkungen zum physikalischen Praktikum gegebenen allgemeinen Hinweise gelten auch für die Klasse 10 und können dort nachgelesen werden. Im folgenden wird nur auf Besonderheiten der Klasse 10 eingegangen. Mit dem physikalischen Praktikum der Klasse 10 wird die selbständige experimentelle Arbeit der Schüler im Physiklehrgang zum Abschluß geführt. Die damit erreichbare Vervollkommnung des Wissens, Könnens und Verhaltens der Schüler erlangt unter dem Aspekt der Gesamtwiederholung eine eigenständige Bedeutung. Die mit den Experimenten herausgegriffenen inhaltlichen Schwerpunkte des Physikunterrichts werden bei gründlichem Bearbeiten der Aufträge im Teil Vorbereitung sowie bei exakter Durchführung und Auswertung der Experimente durch die Einheit von sinnhaft-gegenständlichem und abstraktem Denken intensiv verfestigt.

Im Lehrplan sind die Praktikumsexperimente nach inhaltlichen Gesichtspunkten in vier Aufgabenkomplexe mit je drei verschiedenen Experimenten eingeteilt. Die Experimente sind als Gruppenexperimente vorgesehen. Die Erfüllung der Aufträge in den schriftlichen

Anleitungen ist bei jedem Experiment auf eine Doppelstunde bemessen. Je Unterrichtswche sollte ein Experiment ausgeführt werden. Jeder Schüler hat mindestens drei Experimente aus verschiedenen Aufgabenkomplexen auszuführen. Der Lehrer muß deshalb zunächst entscheiden, ob jeder Schüler drei oder mehr Experimente ausführen soll. Es ist abzuwägen, ob eine größere Anzahl Stunden für Vorbereitung und Gesamtwiederholung Erfolg versprechen, oder ob es für die Schüler mehr bringt, sich mit einer weiteren Stoffeinheit durch ein viertes Experiment auseinandersetzen zu müssen.

Bei der Vorbereitung des Praktikums werden Ziele und Inhalt genannt, und es werden die Beziehungen zur Gesamtwiederholung hervorgehoben. Neben organisatorischen Hinweisen könnte der Lehrer die Kriterien für die Bewertung der Leistungen nennen und auf Arbeitsschutzbestimmungen eingehen. Es darf in Klasse 10 davon ausgegangen werden, daß den Schülern der Ablauf des Praktikums und die Erwartungen an ihr Verhalten bekannt sind. Die verfügbare Zeit sollte der inhaltlichen Vorbesinnung dienen. Dabei könnte auf die Vorbemerkungen im Praktikumsheft Physik Klasse 10, auf physikalische Grundlagen, auf die Handhabung bestimmter Geräte und auf das Protokollieren eingegangen werden. Für die Experimente des vierten Aufgabenkomplexes können Vorbesprechungen unterlassen werden. Die Schüler sollten Wiederholungen dazu rechtzeitig selbst vornehmen. Bei den Experimenten des vierten Aufgabenkomplexes läßt sich die Wirksamkeit für die Gesamtwiederholung noch erhöhen, wenn von den Schülern verlangt wird, daß sie sich auf alle drei Experimente gleichermaßen gründlich vorbereiten. Sie würden dann erst zu Beginn der betreffenden Doppelstunde erfahren, welches der drei Experimente sie auszuführen haben. Eine weitere Steigerung der Anforderungen im Praktikum ist dadurch möglich, daß die Schüler zu den Experimenten eines Aufgabenkomplexes das Protokoll vollständig in der Schule anfertigen. Auch die Antworten zu den Fragen nach physikalischen Grundlagen wären dann aus dem Gedächtnis zu geben. Wird gesonderte Zeit für die Auswertung des Praktikums geplant, so gelten für die inhaltliche Gestaltung die Hinweise in den Unterrichtshilfen Physik Klasse 9.

## *Empfehlungen zur Gestaltung der Praktikumsexperimente*

### **1. Aufgabenkomplex: Kinematik und Dynamik**

Die Aufgaben greifen auf die Mechanik der Klasse 9 zurück, da dieses Stoffgebiet aufgrund seiner zeitlichen Stellung bisher innerhalb des Praktikums nicht berücksichtigt werden konnte. Bei den Experimenten liegt der Schwerpunkt in der Bestätigung und Anwendung bereits bekannter Gesetze der Kinematik und Dynamik durch das Untersuchen der Abhängigkeit zwischen zwei physikalischen Größen an realen Objekten.

Für das Experiment P 1/1 sind die Handlungen, die einzuhaltenden Bedingungen und die Tabellen ausführlich vorgegeben. Die Experimentieranordnung ist einfach zu bedienen und gewährleistet exakte Meßwerte.

Beim Experiment P 1/2 muß der Schüler die Tabelle selbst entwerfen. Er muß einen Weg finden, um die berechnete Endgeschwindigkeit zu bestätigen. Das Messen der Zeit mit der Handstoppuhr stellt hohe Anforderungen an die Konzentration und an das Geschick des Schülers.

Im Experiment P 1/3 ist die Schwierigkeit bedingt durch den erstmaligen Umgang mit der Experimentieranordnung und durch die Notwendigkeit, die schriftlichen Informationen über deren Handhabung zu realisieren.

## P 1/1 Newtonsches Grundgesetz

Der Inhalt dieses Gesetzes soll an einem Schienenwagen durch die Untersuchung der Abhängigkeit der Beschleunigung von der Kraft bzw. der Masse bestätigt werden. Das Experiment dient der Festigung der Gesetze der Dynamik und der Kinematik.

**Zu den Grundlagen.** Die Schüler sollen vom Newtonschen Grundgesetz ausgehen und die geforderten Zusammenhänge formulieren und grafisch darstellen.

**Zu den Geräten und Hilfsmitteln.** Die Experimentieranordnung wird im funktionstüchtigen Zustand bereitgestellt.

SEG Praktikumsausstattung

1 Satz Hakenkörper

1 Hakenkörper ( $m = 100 \text{ g}$ )

Polydigit mit Haltemagnet oder Adapter

2 V-FüÙe aus SEG Mechanik

Am Anfang der Schiene sollte eine Sperre (z. B. Tischklemme) gegen das Herunterfallen des Wagens angebracht werden. Statt des Fadenkärtchens kann auch ein S-Haken aus Metall am Faden befestigt werden. In ihn lassen sich die Hakenkörper für den Reibungsausgleich und zum Beschleunigen einhängen. Der Reibungsausgleich sollte vom Lehrer besonders sorgfältig erprobt werden. Nur bei richtigem Reibungsausgleich geht die Gerade im  $a$ - $F$ -Diagramm durch den Koordinatenursprung. Es ist darauf zu achten, daß zur Beschleunigung nur Hakenkörper verwendet werden, deren Masse genau mit dem Nennwert übereinstimmt. Zur Zeitmessung kann auch die Lichtschrankenordnung eingesetzt werden.

**Zur Durchführung und Auswertung.** Den Schülern ist zu zeigen, wie Start- und Stopp-schalter gelöst und geschlossen werden. Beim Einsatz der Lichtschranken müssen die Schüler am Arbeitsplatz in der Handlungsfolge unterwiesen werden.

Die Begrenzung auf  $s = 0,5 \text{ m}$  ist zu empfehlen. Der Wagen kann nach dem Durchlaufen des Stoppschalters mit der Hand aufgehalten werden.

**Zur Zusatzaufgabe.** Es sind Meßfehler bei der Zeit (Auslösefehler), beim Weg (Anlegefehler der Schalterkontakte) und bei der Kraft (Toleranz der Masse der Hakenkörper) möglich.

Wenn  $t$  zu groß ist, so sind  $a$  und damit  $\frac{a}{F}$  bzw.  $m \cdot a$  zu klein.

**Varianten für verschiedene Schülergruppen.** Bei Aufgabe 1 können auch  $m = 150 \text{ g}$  oder  $200 \text{ g}$  und  $F = 0,03 \text{ N}$  bis  $0,15 \text{ N}$  genommen werden. Bei Aufgabe 2 kann die Untersuchung für  $F = 0,05 \text{ N}$  bis  $0,2 \text{ N}$  erfolgen. Die Strecke  $s$  kann variiert werden.

## P 1/2 Die geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Die Schüler sollen am Laufe einer Kugel auf geneigter Ebene das Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung überprüfen, und sie sollen die berechnete Endgeschwindigkeit bestätigen. Das Experiment dient der Festigung der Bewegungsgesetze.

## Zu den Grundlagen.

1.

		gleichförmige Bewegung	gleichmäßig beschleunigte Bewegung
Weg	Gleichung Diagramm Proportionalität	$s = v \cdot t$  $s \sim t$	$s = \frac{a}{2} t^2$  $s \sim t^2$
Geschwindigkeit	Gleichung Diagramm Proportionalität	$v = \frac{s}{t}$  -	$v = a \cdot t$  $v \sim t$
Beschleunigung		$a = 0$	$a \neq 0$ , konstant

5. Lösung:  $a = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  und  $v = 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Die Kugel bewegt sich von B nach C gleichförmig weiter. Um diese Geschwindigkeit zu bestimmen, muß die Zeit  $t_{BC}$  für das Durchlaufen der Strecke  $\overline{BC}$  gemessen werden. Es ist  $v = \frac{\overline{BC}}{t_{BC}}$ .

### Zu den Geräten und Hilfsmitteln.

- 1 Ablaufschiene von 2 m Länge
- 1 Auslaufschiene von 1 m Länge
- Unterlage
- 2 Holzklötze
- 1 Winkelmesser
- 1 Kugel
- 1 Handstoppuhr
- 1 Meßstab

Soweit keine Ablaufschiene vorhanden ist, können die Metallschienen (L-Profil) vom Gerät „Schienenwagen“ abmontiert und genutzt werden.

**Zur Durchführung und Auswertung.** Bei diesem Experiment muß bedacht werden, daß die Endgeschwindigkeit der Kugel beim Übergang in die Auslaufbahn in Komponenten zerlegt wird. Nur die Horizontalkomponente ist meßbar. Die Abweichung beträgt bei einem Winkel von  $14^\circ$  etwa 3%. Der Neigungswinkel sollte  $20^\circ$  nicht übersteigen.

Ein Neigungswinkel, z. B.  $5^\circ$ , wird vorgegeben. Bei dem Wählen der Ablaufstrecken nutzen die Schüler die gesamte Länge der Schiene aus. Die Strecke  $s$  muß dabei vom Kugelmittelpunkt zurückgelegt werden. Das Loslassen der Kugel und das Zeitmessen sollte von demselben Schüler ausgeführt werden. Die Schüler wechseln sich bei den Messungen ab. Ein vor die Kugel gehaltener Klotz wird beim Start nach unten weggezogen.

**Zur Zusatzaufgabe.** Es sind Meßfehler bei der Zeit (Auslösefehler und Ablesefehler) und beim Weg (Anlegefehler und Ablesefehler) möglich. Wenn  $t$  zu groß ist, so ist  $a$  zu klein.

**Varianten für verschiedene Schülergruppen.** Unterschiedliche Neigungswinkel zwischen  $3^\circ$  und  $20^\circ$ , verschiedene Kugeln.

## P 1/3 Die gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Die Gültigkeit des Weg-Zeit-Gesetzes der gleichmäßig beschleunigten Bewegung soll mit Hilfe des Drehgerätes überprüft werden, und es soll eine berechnete Endgeschwindigkeit bestätigt werden. Das Experiment dient der Festigung der Bewegungsgesetze.

**Zu den Grundlagen.** Zur Beantwortung von 1. siehe Experiment P 1/2!

**Zu den Geräten und Hilfsmitteln.** Die Experimentieranordnung wird im funktionstüchtigen Zustand bereitgestellt.

SEG Praktikumsausstattung

1 Handstoppuhr

1 Satz Hakenkörper

2 V-Füße und

1 Stativstab aus SEG Mechanik

Statt des Fadenkärtchens kann auch ein S-Haken aus Metall am Faden befestigt werden. In ihn lassen sich die Hakenkörper für den Reibungsausgleich und zum Beschleunigen einhängen. Eine Absinkstrecke von etwa 1 m ist zu gewährleisten. Wenn die waagrecht geführte Schnur bei alleinigem Wirken des Reibungsausgleichs stark durchhängt, sollte sie durch ein leichteres Material (z. B. Nähseide) ersetzt werden.

*Variante:* Es wird der Reifenapparat mit Rotationszylinder eingesetzt. Die Anleitung behält ihre Gültigkeit.

**Zur Durchführung und Auswertung.** Es ist darauf zu achten, daß der Faden parallel zum Lineal läuft und daß das Fähnchen nicht schleift. Um die Messungen zügig wiederholen zu können, sollte das Drehgerät mit der Hand gehalten und gestartet werden, ohne die Bremsvorrichtung zu benutzen.

**Zur Zusatzaufgabe.** Es sind Meßfehler bei der Zeit (Auslösefehler und Ablesefehler) und beim Weg (Reaktionsfehler und Ablesefehler) möglich. Wenn  $t$  zu klein ist, so ist  $a$  zu groß.

**Variante für verschiedene Schülergruppen.** Es werden verschiedene Hakenkörper verwendet.

## 2. Aufgabenkomplex: Wechselstromkreis

Wesentliche Begriffe und Gesetze des Wechselstromkreises werden wiederholt und angewendet. Durch die Untersuchung von Zusammenhängen werden die Schüler ihre Kenntnisse vertiefen. Den Schaltplan sollen sie selbständig entwerfen und die Experimentieranordnung danach aufbauen. Die Schwerpunkte der Experimente liegen im Bereich des Könnens, und zwar beim Messen von Spannung und Stromstärke in verschiedenen Meßbereichen, beim Herausfinden bestimmter Abhängigkeiten und bei dem möglichst genauen Bestimmen einer physikalischen Größe. Beim Experiment P 2/1 wurden die nötigen Bedingungen und die Folge der Handlungen vorgegeben. Der Hauptteil der Auswertung besteht im Berechnen von Widerständen, im Vergleichen und im sprachlichen Formulieren von Abhängigkeiten.

Im Experiment P 2/2 müssen die Schüler selbständig festlegen, welche physikalischen Größen zur Untersuchung der Abhängigkeit des Wechselstromwiderstandes von der Kapazität zu messen und zu berechnen sind, wie die grafische und die rechnerische Auswertung zu erfolgen haben. Die Schüler lernen verschiedene Verfahren der Kapazitätsbestimmung kennen.

Das Besondere am Experiment P 2/3 besteht darin, daß eine kompliziertere Schaltung zu entwerfen und aufzubauen ist, daß die Schüler den  $I_2$ -Bereich und die belastenden Sekundärstromstärken selbst wählen müssen und daß mit vier Meßgeräten gleichzeitig gearbeitet werden muß.

## P 2/1 Die Spule im Wechselstromkreis

Die Schüler kennen aus dem Unterricht die Beziehung  $X_L \sim L$  (für  $f = \text{konstant}$ ). Im Experiment sollen sie erkennen, in welcher Weise der elektrische Widerstand einer Spule bei Wechselstrom von der Art des Spulenkernes und von der Windungszahl abhängt. Dadurch lernen sie, in welcher Weise die Induktivität durch den Bau der Spule bedingt ist. Sie reaktivieren und festigen, wie die Induktivität einer Drosselspule für Wechselstrom bestimmt werden kann.

### Zu den Grundlagen.

2. Glühlampe:  $R = R_L$ , Spule:  $R_L > R_L$ , Kondensator:  $R_L$  unendlich groß.
3. Der Unterschied wird mit dem Induktionsgesetz und dem Lenzschen Gesetz erklärt.
4. Aus  $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$  und  $X_L = \frac{U}{I}$  wird  $L = \frac{U}{2\pi \cdot f \cdot I}$  hergeleitet.
6. Im Schaltplan bleibt es den Schülern überlassen, ob der Spannungsmesser parallel zur Spule oder zur Spannungsquelle liegen soll.

### Zu den Geräten und Hilfsmitteln.

- 1 SVG
- 2 Schülermeßgeräte
- 1 Spule ( $N = 3000$ )
- 1 Spule ( $N = 1000$ )
- 1 Spule ( $N = 500$ )
- 1 I-Kern geblättert
- 1 U-Kern geblättert
- Verbindungsleiter

**Zur Durchführung und Auswertung.** Beispiel für das Erfassen gemessener und berechneter Werte in einer Tabelle:

Spulenart	$U$ in V	$I$ in A	$R_L$ in $\Omega$
$N = 1000$ , luftgefüllt	4,6	0,35	13
$N = 1000$ , I-Kern	4,8	0,20	24
$N = 1000$ , I-Kern und U-Kern	5,0	0,011	450
$N = 500$ , U-Kern	4,8	0,39	12
$N = 1000$ , U-Kern	5,0	0,1	50
$N = 3000$ , U-Kern	5,0	0,012	420
Drosselspule	5,0	0,0017	2900

Zu 3.: Der elektrische Widerstand nimmt zu, wenn sich statt Luft ein Eisenkern in der Spule befindet. Er ist am größten bei einem geschlossenen Eisenkern.

Zu 5.: Es genügt, wenn die Schüler die Abhängigkeit in einem Je ...,desto ...-Satz formulieren. Der Vergleich gestattet sogar, in Näherung  $R_L \sim N^2$  zu erkennen.

Zu 8.: Die Induktivität einer Spule mit 3000 Windungen und geschlossenem Eisenkern beträgt etwa 9 H.

**Zur Zusatzaufgabe.** Der Lehrer zeigt die Bedienung des Universalgenerators UVG 2. Die Schüler wählen selbst eine Windungszahl und eine Spannung. Der UVG 2-Bereich bis 10 V gibt die Spannung zwischen dem positiven und negativen Maximalwert ( $U_{SS}$ ) an. Die Höchstspannung entspricht einer Effektivspannung von etwa 3,5 V. Darauf sind die Schüler aufmerksam zu machen. Die Untersuchung soll an einer Spule mit Kern erfolgen. Es genügt, wenn die Schüler die Abhängigkeit in einem Je ...,desto ...-Satz formulieren.

**Varianten für verschiedene Schülergruppen.** Die Untersuchung der Abhängigkeit des Widerstandes vom Spulenkern kann auch mit  $N = 500$  oder  $N = 2500$  erfolgen. Die Abhängigkeit von der Windungszahl läßt sich auch bei Spulen mit I-Kern prüfen. Als Drosselspulen können Spulen mit geschlossenem Eisenkern aus dem Aufbausatz Elektrik verwendet werden. Die Spulen technischer Transformatoren sind ebenfalls geeignet. Die Untersuchung kann bei einer anderen Effektivspannung erfolgen.

## P 2/2 Der Kondensator im Wechselstromkreis

Die Schüler kennen aus dem Unterricht die Beziehung  $X_C \sim \frac{1}{C}$  (bei  $f = \text{konstant}$ ). Im Experiment sollen sie diese Abhängigkeit bestätigen und dabei grafische und rechnerische Auswertungsverfahren anwenden. Die Schüler reaktivieren und festigen, wie die Kapazität eines Kondensators mit Netzwechselstrom bestimmt werden kann.

### Zu den Grundlagen.

- Glühlampe:  $R_+ = R_-$ , Spule:  $R_+ > R_-$ , Kondensator:  $R_-$  ist unendlich groß.
- Die Schüler erklären den Stromfluß in den Zuleitungen zum Kondensator durch wiederholtes Aufladen, Entladen, Umladen, Entladen usw.
- Aus  $X_C = \frac{U}{I}$  und  $X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$  wird  $C = \frac{I}{2\pi \cdot f \cdot U}$  hergeleitet.
- Im Schaltplan sollte der Spannungsmesser parallel zur Spannungsquelle liegen. Den Schülern ist ein Hinweis zu geben.

Zur Vorbereitung sollen die Schüler den Abschnitt in den Vorbemerkungen des Praktikumsheftes über die grafische und rechnerische Ermittlung einer speziellen Abhängigkeit durcharbeiten.

### Zu den Geräten und Hilfsmitteln.

- 1 SVG
- 1 Kondensator  $4 \mu\text{F}$
- 1 Black box mit Kondensator (unbekannter) Kapazität  $C_X$
- 2 Schülermeßgeräte
- 3 Kondensatoren  $1 \mu\text{F}$
- Verbindungsleiter

Die Kondensatoren in den Black box sollten Kapazitäten zwischen  $1 \mu\text{F}$  und  $6 \mu\text{F}$  haben, damit eine grafische Lösung für Aufgabe 2 möglich ist.

Hinweis: Schulen, die nicht über die angegebenen Kondensatoren verfügen, benutzen die folgenden Werte. Für die Aufgabe 1 ist  $C = 0,1 \mu\text{F}$  bis  $0,6 \mu\text{F}$ , und für Aufgabe 2 ist  $C_X$  im untersuchten Intervall oder im Bereich bis zu  $20 \mu\text{F}$  zu wählen. Bei der Lösung der Zusatzaufgabe sind die Frequenzen  $1 \text{ kHz}$  bis  $5 \text{ kHz}$  günstig.

**Zur Durchführung und Auswertung.** Der Tabellenkopf für die gemessenen und berechneten Werte könnte folgendes Aussehen haben:

$C$ in $\mu\text{F}$	$U$ in V	$I$ in A	$X_C$ in $\Omega$	$X_C \cdot C$ in $\mu\text{F} \cdot \Omega$
-------------------------	-------------	-------------	----------------------	--

Es muß darauf geachtet werden, daß die Schüler die Stromstärke in Ampere angeben.

Bild 34 zeigt das  $X_C$ - $C$ -Diagramm.

Bei der Lösung der Aufgabe wird die unbekannte Kapazität  $C_X$  mit der in der Vorbereitung (4) hergeleiteten Gleichung berechnet. Beispiel:  $U = 8,5 \text{ V}$ ,  $I = 0,0062 \text{ A}$ ,  $C_X = 2,3 \mu\text{F}$ .

Zum Bestimmen von  $C_X$  aus dem Diagramm wird der kapazitive Widerstand  $X_C$  berechnet ( $1400 \Omega$ ).

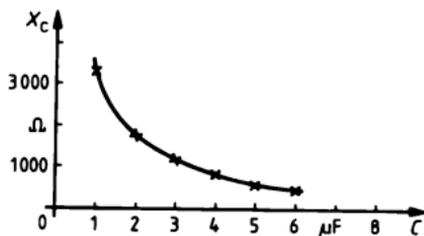


Bild 34  $X_C$ -C-Diagramm

Liegt  $C_x$  außerhalb des im Diagramm dargestellten Intervalls (also beispielsweise in den Bereichen  $0,1 \mu\text{F}$  bis  $1 \mu\text{F}$ ;  $6 \mu\text{F}$  bis  $50 \mu\text{F}$ ), so wird die Kapazität aus dem Produkt  $X_C \cdot C_x$  berechnet.

Beispiel:  $X_C \cdot C_x = 3\,200 \mu\text{F} \cdot \Omega$ ,  $U = 9,6 \text{ V}$ ,  $I = 0,06 \text{ A}$ ,  $X_C = 160 \Omega$ ,  $C_x = 20 \mu\text{F}$ .

**Zur Zusatzaufgabe.** Der Lehrer zeigt die Bedienung des Universalgenerators UVG 2. Die Schüler wählen selbst einen Kondensator und eine Spannung. Der UVG 2-Bereich bis 10 V gibt die Spannung zwischen dem positiven und negativen Maximalwert ( $U_{SS}$ ) an. Die Höchstspannung entspricht einer Effektivspannung von maximal 3,5 V. Darauf sind die Schüler aufmerksam zu machen. Es genügt, die Abhängigkeit in einem Je ...-desto ...-Satz zu formulieren.

**Varianten für verschiedene Schülergruppen.** Unterschiedliche Kapazitäten des Kondensators in der Black box. Die Untersuchung kann bei einer anderen Effektivspannung erfolgen.

## P 2/3 Der Wirkungsgrad eines Transformators

Die Schüler sollen untersuchen, wie der Wirkungsgrad von der Belastung abhängt. Sie sollen erkennen, daß der Wirkungsgrad nur bei einer bestimmten Belastung maximal ist.

Mit der Beschreibung des Aufbaus und der ausführlichen Erklärung der Wirkungsweise des Transformators werden wichtige Kenntnisse aus den Stoffeinheiten „Wechselstrom“ und „Elektromagnetische Induktion“ reaktiviert.

### Zu den Grundlagen.

1. Aufbau: Zwei Spulen und geschlossener Eisenkern

Zweck: In der Regel zum Vergrößern oder Verkleinern des Betrages von Wechselspannung bzw. Wechselstromstärke.

2. Erläuterung am Beispiel

a) Spannungsübersetzung  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

Beim Klingeltransformator ist  $N_2 < N_1$ . Deshalb ist  $U_2 < U_1$ . Die Spannung wird von 220 V auf 6 V verringert.

b) Stromstärkeübersetzung  $\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$

Beim Schweißtransformator ist  $N_2 \ll N_1$ . Deshalb ist  $I_2 \gg I_1$ . Die Kurzschlußstromstärke beträgt mehrere Tausend Ampere.

3. Gesetz: Induktionsgesetz. Bedingung: Beide Spulen auf einem geschlossenen Eisenkern. Wirkungsweise: Die Spannung  $U_1$  eines Wechselstroms liegt an einer Primärspule. In ihr und um sie befindet sich ein Magnetfeld, dessen Stärke sich periodisch ändert. Dieses sich verändernde Magnetfeld durchsetzt auch die Sekundärspule. In ihr entsteht nach dem Induktionsgesetz eine Induktionsspannung.

5. Die Ableitung kann so erfolgen:

$$\eta = \frac{E_{\text{nutz}}}{E_{\text{aufg}}} = \frac{W_{\text{el}2}}{W_{\text{el}1}} = \frac{P_{\text{el}2} \cdot t}{P_{\text{el}1} \cdot t} = \frac{U_2 \cdot I_2 \cos \varphi_2}{U_1 \cdot I_1 \cos \varphi_1}$$

und bei der Näherung  $\cos \varphi_2 \approx \cos \varphi_1$  folgt

$$\eta = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1}$$

6. Bild 35 zeigt den Schaltplan.

Es ist für die Messungen günstig, wenn das Meßgerät für  $U_1$  parallel zur Spannungsquelle liegt.

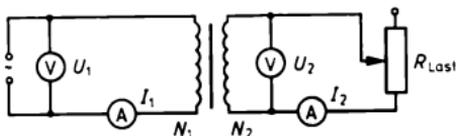


Bild 35 Schaltplan

#### Zu den Geräten und Hilfsmitteln.

- 1 SVG
- 1 U-Kern geblättert
- 1 I-Kern geblättert
- 4 Schülermeßgeräte
- 1 stellbarer Widerstand (50  $\Omega$  oder 250  $\Omega$ )
- Verbindungsleiter
- 2 Spulen 250/250 oder
- 1 Spule 250/250 und 1 Spule 750/250

**Zur Durchführung und Auswertung.** Am Arbeitsplatz wird den Schülern mitgeteilt (Karte), mit welchen Windungszahlen und mit welcher Primärspannung (Buchsenkombination am SVG) sie arbeiten sollen.

Beispiel für eine Tabelle bei folgenden Bedingungen:

$N_1 = 1000$ ,  $N_2 = 500$ ,  $U_1$  (3/8 am SVG),

$R_{\text{Last}} = 0 \Omega$  bis 250  $\Omega$ , Meßbereiche 10 V, 3 V, 100 mA

Nr.	$U_1$ in V	$I_1$ in A	$U_2$ in V	$I_2$ in A	$\eta$
1	4,3	0,015 5	1,85	0,20	0,55
...	...	...	...	...	...
...	4,3	0,026	1,75	0,040	0,63
...	...	...	...	...	...
8	4,3	0,054	1,00	0,096	0,41

**Zur Interpretation:** Der verwendete Transformator arbeitet bei Dauerbetrieb am wirtschaftlichsten, wenn  $I_2$  etwa 0,04 A beträgt. Beobachtungen bei zunehmender Belastung:  $U_2$  sinkt,  $I_1$  steigt,  $U_1$  ist konstant.

Das Experiment kann auch mit 2 Spulen gleicher Windungszahl durchgeführt werden (z. B.  $N_1 = N_2 = 500$ ,  $U_1$  (2/8 am SVG),  $R_{\text{Last}} = 0 \Omega$  bis 250  $\Omega$ , Meßbereiche 10 V, 300 mA).

In diesem Falle können  $U_1$  und  $U_2$  sowie  $I_1$  und  $I_2$  im gleichen Meßbereich gemessen werden. Solche Transformatoren werden als Trenntransformatoren in der Schutztechnik zum galvanischen Trennen der Geräte vom Netz eingesetzt (TGL 200-602/2).

#### Zur Zusatzaufgabe.

Beispiel:  $U_1 = 4,5 \text{ V}$ ,  $I_1 = 0,05 \text{ A}$ ,  $U_2 = 1,1 \text{ V}$ ,  $I_2 = 0,04 \text{ A}$   
 $\eta = 0,20 = 20\%$

Vergleich:  $\eta_{\text{Gebliitter}} = 63\%$ ,  $\eta_{\text{Vollkern}} = 20\%$

Begründung: Wirbelströme

**Varianten für verschiedene Schülergruppen.**

$N_1 = 1000$ ,  $N_2 = 250$ ,  $U_1$  (2/8 am SVG)

$N_1 = 750$ ,  $N_2 = 500$ ,  $U_1$  (3/12 am SVG)

$N_1 = N_2 = 250$ ,  $U_1$  (0/3 oder 8/12 am SVG)

$N_1 = N_2 = 500$ ,  $U_1$  (3/8 oder 0/8 am SVG)

$R_{\text{Last}}$  entweder  $0 \Omega$  bis  $50 \Omega$  oder  $0 \Omega$  bis  $250 \Omega$

### 3. Aufgabenkomplex: Schwingungen

Die Experimente haben grundlegende Begriffe und Gesetze der Schwingungslehre zum Inhalt. Die Untersuchungen werden am Fadenpendel und am Parallelschwingkreis durchgeführt.

Das Experiment P 3/1 ermöglicht den Schülern, ihre Kenntnisse aus dem Unterricht zu vertiefen, indem sie gezielte Untersuchungen mit dem Fadenpendel durchführen.

Die Auswertung der Meßergebnisse ist anspruchsvoll.

Im Experiment P 3/2 wird die Energieübertragung zwischen gekoppelten Fadenpendeln untersucht. Der Prozeß des Aufschaukelns eines Schwingers und der Sonderfall der Resonanz sind Gegenstand der Beobachtungen. Die grafische Auswertung verlangt besondere Überlegungen zum Finden eines geeigneten Maßstabes.

Beim Experiment P 3/3 wird ein elektrischer Schwingkreis zu erzwungenen Schwingungen erregt. Durch Vergrößern der Kapazität wird die Eigenfrequenz verändert und die Resonanzkurve (Abstimmkurve) aufgenommen. Die Auswertung verlangt das Berechnen mit Hilfe der Thomsonschen Schwingungsgleichung.

#### P 3/1 Das Fadenpendel

Die Schüler sollen ihre Kenntnisse aus dem Unterricht durch quantitative Untersuchungen zur Gleichung der Periodendauer eines Fadenpendels vertiefen, und sie sollen ein weiteres Verfahren zur Bestimmung der Fallbeschleunigung kennenlernen.

**Zu den Grundlagen.**

#### 2. Energieumwandlungen

Bei ungedämpften Schwingungen:  $E_{\text{pot}}$  in  $E_{\text{kin}}$  und umgekehrt.

Bei gedämpften Schwingungen:  $E_{\text{pot}}$  in  $E_{\text{kin}}$  und  $E_{\text{th}}$   
sowie  $E_{\text{kin}}$  in  $E_{\text{pot}}$  und  $E_{\text{th}}$ .

#### 5. Planung

Wir untersuchen die Abhängigkeit	Wir verändern	Wir lassen unverändert
$T$ von $l$ $T$ von $m$ $T$ von $\alpha$	$l$ $m$ $\alpha$	$m$ und $\alpha$ $l$ und $\alpha$ $l$ und $m$

6. Bild 36 zeigt die Experimentieranordnung.

**Zu den Geräten und Hilfsmitteln.**

- 1 Handstoppuhr
- 1 Winkelmesser
- 1 Meßstab (1 m)
- 2 Kreuzklemmen
- Hakenkörper (SEG Mechanik)
- Stativstäbe (1000 mm und 250 mm)
- V-Fuß
- 3 Ringhaken

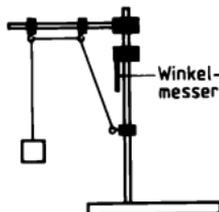


Bild 36 Experimentieranordnung

**Zur Durchführung und Auswertung.** Für die Aufgabe 1 ist es den Schülern weitgehend freigestellt, welche Längen und Massen sie wählen wollen.

Die Schüler erhalten folgende Ergebnisse:

$T \sim \sqrt{l}$ ,  $T$  ist nicht abhängig von der Masse des Pendelkörpers,  $T$  nimmt bei Auslenkungswinkeln über  $20^\circ$  zu.

Für die Aufgabe 2 wird die Gleichung  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  nach  $g$  umgestellt, und es wird der Meßwert von  $T$  für  $l = 1$  m eingesetzt. Bei sorgfältigem Experimentieren können die Schüler Werte erhalten, deren Abweichungen vom Tafelwert sehr gering sind.

**Zur Zusatzaufgabe.** Auf die Ortsabhängigkeit der Fallbeschleunigung wurde in Klasse 9 hingewiesen.

$T_P = 2,004$  s,  $T_A = 2,009$  s. Die Uhr würde nachgehen (am Tag um 3 min und 12 s.).

### P 3/2 Gekoppelte Fadenpendel

Die Schüler sollen die hauptsächlich am Federschwinger geprägten Begriffe Eigenschwingung, erzwungene Schwingung und Resonanz an Fadenpendeln vertiefen.

**Zu den Grundlagen.** Bei dem Interpretieren ist vor allem Wert auf die richtige Beschreibung der Abhängigkeiten zu legen.

In der Vorbereitungsstunde sollten die Schüler darauf hingewiesen werden, daß es zwei Möglichkeiten gibt, Resonanz zu erzeugen: Veränderung von  $f_E$  bei konstanter Eigenfrequenz  $f_0$  oder Veränderung von  $f_0$  bei konstanter Erregerfrequenz  $f_E$ .

**Zu den Geräten und Hilfsmitteln.**

- 1 Meßstab (1 m)
- 1 Handstoppuhr
- 1 Rundfuß mit Masse 1 kg (Erreger)
- 1 Hakenkörper mit Masse 50 g (Schwinger)
- 1 Schraubenfeder (SEG Mechanik)
- 1 Krokodilklemme (Kopplung), möglichst zum Anschrauben
- 1 Lineal mit Linealhalter (SEG Mechanik)
- Stativmaterial aus SEG Mechanik: 1 V-Fuß, 2 Stativstäbe zu 500 mm, 1 Kreuzklemme
- 1 T-Fuß aus SEG Optik
- Demonstrationsstativmaterial: 3 Stativstäbe zu 1000 mm, 2 Stativstäbe zu 250 mm, 5 Ringhaken, 4 Kreuzklemmen, 2 Tischklemmen
- 2 kleine Gummistopfen
- Schnur (Faden)

**Zur Durchführung und Auswertung.** In der Regel sollte die Experimentieranordnung fertig vorgegeben werden. Die Länge des Erregers soll 0,6 m bis 0,8 m sein. Der Faden des Erregers wird durch den Rundfuß geführt und mit zwei Gummistopfen festgeklemmt. Die Anfangsamplitude ist durch einen Anschlag auf etwa 20 cm zu begrenzen. Die Kopplung besteht aus einer Schraubenfeder, die durch einen Knoten mit dem Erreger fest verbunden ist, und an dem anderen Ende eine Krokodilklemme befestigt wurde. Dadurch ist die Verbindung mit dem Schwinger lösbar. Der Abstand Ringhaken – Kopplungsfeder sollte etwa 15 cm betragen. Die Stativhöhe muß eine Längenänderung des Schwingers bis zu 95 cm gestatten. Bild 37 zeigt eine mögliche Resonanzkurve.

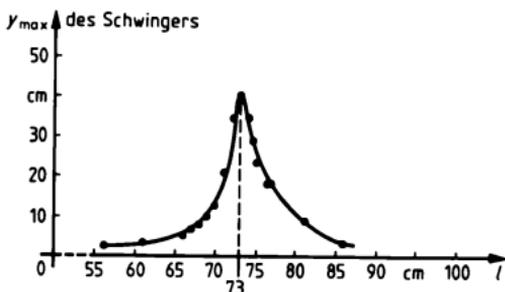


Bild 37 Resonanzkurve

**Varianten für verschiedene Schülergruppen.** Andere Länge des Erregers, andere Anfangsamplitude des Erregers, andere Längenänderungen des Schwingers, andere Kopplung (Federart, Kopplungshöhe).

### P 3/3 Erzwungene elektrische Schwingungen

Die Schüler sollen ihre Kenntnisse über die Schwingungsvorgänge festigen. Sie erleben am Beispiel der transformatorischen Kopplung das Erzeugen erzwungener Schwingungen, und sie verfolgen den Prozeß der Abstimmung durch ihre Messungen. Dadurch vertieft sich das Verständnis für die Wirkung des Abstimmkreises in der Rundfunktechnik.

#### Zu den Grundlagen.

2. Die Beschreibung kann z. B. in einer Tabelle erfolgen, wobei die im Unterricht eingeführte Pfeilschreibweise angewendet wird:

	$t = 0$	$t = \frac{T}{8}$	$t = \frac{T}{4}$	$t = \frac{3T}{8}$	$t = \frac{T}{2}$
$U$ am Kondensator	max.	$U \downarrow$	0	$U \uparrow$	max.
$E_{el}$ (Feldenergie)	max.	$E_{el} \downarrow$	0	$E_{el} \uparrow$	max.
$I$ im Schwingkreis	0	$I \uparrow$	max.	$I \downarrow$	0
$E_{magn}$ (Feldenergie)	0	$E_{magn} \uparrow$	max.	$E_{magn} \downarrow$	0

5. a)  $f_{erzw.} = f_E$   
 b) Veränderung von  $C$  oder  $L$  bzw.  $C$  und  $L$ , bis  $f_0 = f_E$  ist.  
 c) Amplitude der Stromstärke ist maximal.  
 d) Auswahl eines Senders im Rundfunkempfänger.

### Zu den Geräten und Hilfsmitteln.

- 1 großes Grundbrett
- 6 Brückenstecker
- 3 kleine Grundbretter
- 1 Schülermeßgerät
- 1 SVG
- Verbindungsleiter
- 2 Spulen mit  $N = 500$
- 3 Kondensatoren mit je  $2 \mu\text{F}$
- 1 Spule mit  $N = 3000$
- 3 Kondensatoren mit je  $4 \mu\text{F}$
- 2 U-Kerne geblättert
- 2 I-Kerne geblättert

**Zur Durchführung und Auswertung.** Den Schülern wird die Art der Schwingkreisspule vorgegeben (z. B.  $N = 3000$ , geblätterter U-Kern, SVG 2/8).

Bereits aus den Meßwerten können die Schüler erkennen, daß bei Erhöhung der Kapazität die Stromstärke zunächst zunimmt und dann abnimmt.

Die grafische Darstellung  $I = f(C)$  ergibt die Abstimmkurve.

5.  $f_0 = 50 \text{ Hz}$ ,  $T_0 = 0,02 \text{ s}$ .

Zu Aufgabe 2:

Aus der Thomsonschen Schwingungsgleichung folgt

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \cdot f_0^2 \cdot C}$$

### Zu den Zusatzaufgaben.

2. Die Lösung sollte weitgehend selbständig erfolgen.

Aus  $X_L = \frac{U}{I}$  und  $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$  folgt  $L = \frac{U}{2\pi \cdot f \cdot I}$ .

(Die aus  $I$  und  $U$  bestimmte Induktivität wird kleiner sein als die nach der Thomsonschen Schwingungsgleichung berechnete, weil die Wirkung der Koppelspule nicht berücksichtigt wird.)

### Varianten für verschiedene Schülergruppen.

- Schwingkreisspule  $N = 2500$  mit geblättertem U-Kern, SVG 2/8;
- Schwingkreisspule  $N = 1000$  mit geblättertem U- und I-Kern, SVG 2/8;
- Schwingkreisspule  $N = 750$  mit geblättertem U- und I-Kern, SVG 8/12.

## 4. Aufgabenkomplex: Gleichstromkreis und Thermodynamik

Der Schwerpunkt liegt im selbständigen Wiederholen von wesentlichem Wissen und Können aus den Stoffgebieten Elektrizitätslehre der Klassen 8 und 9 und aus dem Stoffgebiet Thermodynamik.

### P 4/1 Widerstände im Gleichstromkreis

Die Schüler sollen die aus den Klassen 8 und 9 bekannten Gesetze der Reihen- und Parallelschaltung an einem Stromkreis mit zwei vorgegebenen Bauelementen bestätigen, und sie sollen das Widerstandsgesetz anwenden, um die Länge eines Spulendrahtes zu bestimmen.

## Zu den Grundlagen.

### Aufgabe 1

3. Die Gesetze kann der Schüler dem Tafelwerk entnehmen. Er formuliert sie in Worten.  
Beispiel: Bei Reihenschaltung ist  $I = I_1 = I_2$ , d.h. die Stromstärke ist an allen Stellen des unverzweigten Stromkreises gleich.
4. Schaltplan für den unverzweigten Stromkreis

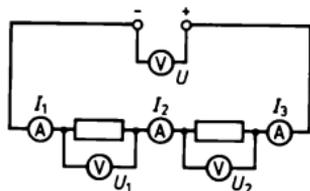


Bild 38

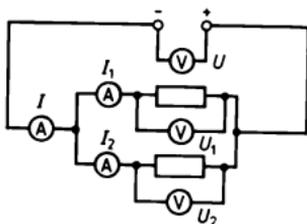


Bild 39

### Aufgabe 2

1.  $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ ,  $R \sim l$ , wenn  $\rho$ ,  $A$  unverändert und  
 $R \sim \frac{1}{A}$ , wenn  $\rho$ ,  $l$  unverändert sind.
2.  $l = \frac{R \cdot A}{\rho}$ ; ermitteln:  $A$ ,  $\rho$ ,  $R$ ; messen:  $U$ ,  $I$ ,  $d$

### Zu den Geräten und Hilfsmitteln.

- 1 SVG
- 2 Isolierstiele mit Fuß
- 2 Schülermeßgeräte
- 2 kleine Grundbretter
- 2 Festwiderstände (z. B. 51  $\Omega$ , 100  $\Omega$ )
- 1 Spule (für Aufgabe 2, z. B.  $N = 1000$ )
- Verbindungsleiter

**Zur Durchführung und Auswertung.** Das Arbeiten mit nur einem Meßgerät verhindert Beeinträchtigungen der Meßwerte durch unterschiedliche Meßgerätefehler.

**Varianten für verschiedene Schülergruppen.** Bei Aufgabe 1 andere Bauelemente:

- 1 m Konstantendraht und Spule mit  $N = 500$ ,
- Spule mit  $N = 750$  und Spule mit  $N = 500$ .

Bei Aufgabe 1 kann eine andere Spannung benutzt werden. Bei Aufgabe 2 können die Spulen mit  $N = 250, 500, 750, 3000$  genommen werden.

## P4/2 I-U-Diagramme von Bauelementen

Die Schüler sollen bei der ersten Aufgabe aus dem  $I$ - $U$ -Diagramm die Art der Veränderung des elektrischen Widerstandes bei Eigenerwärmung erkennen und daraus auf das Bauelement schließen. In der zweiten Aufgabe wird das  $I$ - $U$ -Diagramm der Halbleiterdiode in Durchlaßrichtung aufgenommen.

### Zu den Grundlagen.

#### Aufgabe 1

1. Zur Erklärung

Bei Metall: Steigt die Temperatur, so schwingen die Metallionen heftiger und behindern

die wanderungsfähigen Elektronen stärker. Beim Verdoppeln der Spannung steigt  $I$  nicht auf das Doppelte an.

Bei Halbleiter: Steigt die Temperatur, so entstehen viele zusätzliche wanderungsfähige Elektronen. Beim Verdoppeln der Spannung steigt  $I$  auf mehr als das Doppelte an.

2. Bild 40



Bild 40  $I$ - $U$ -Diagramm

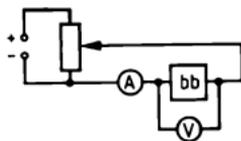


Bild 41 Schaltplan

## Aufgabe 2

1. Durchlaßrichtung: Das elektrische Feld treibt die wanderungsfähigen Ladungsträger in den pn-Übergang. Es fließt ständig ein Strom.

Sperrichtung: Das elektrische Feld zieht die Elektronen und positiven Löcher vom pn-Übergang weg, so daß dort keine wanderungsfähigen Ladungsträger sind. Es fließt kein Strom.

### Zu den Geräten und Hilfsmitteln.

- 1 SVG
- 1 Black box mit Glühlampe
- 1 Black box mit Heißeiter
- 1 Black box mit Festwiderstand
- 2 Schülermeßgeräte
- 1 Drehwiderstand (50  $\Omega$ )
- 4 kleine Grundbretter
- 1 Halbleiterdiode (SY 320 aus SEG Praktikumsausstattung ohne Vorwiderstand)
- 1 Festwiderstand 51  $\Omega$
- Verbindungsleiter

Die Bauelemente in den Black box lassen sich vielfältig zusammenstellen.

Bei den nachstehenden drei Möglichkeiten sind die Bauelemente gut aufeinander abgestimmt.

- Glühlampe 6 V/0,1 A; Heißeiter aus „Elektronik 5“ an zwei Bananenstecker angelötet, um ihn in der Black box unterzubringen; Festwiderstand 100  $\Omega$  aus SEG Elektrik. Die Bauelemente werden im Bereich 0,5 V bis 7,0 V untersucht.
- Glühlampe 6 V/0,1 A; Heißeiter TNM 120 aus der Praktikumsausstattung, Teil II, Festwiderstand 100  $\Omega$  aus SEG Elektrik. Die Bauelemente werden im Bereich 0,5 V bis 4,0 V untersucht.
- 2 Glühlampen 6 V/0,1 A in Reihe (Selbsterstellung); Heißeiter TNM 560 aus SEG Praktikumsausstattung, Teil I (Anschlüsse auf der Plastekappe mit zwei kurzen Verbindungsleitern) und Festwiderstand 100  $\Omega$  aus SEG Elektrik. Die Bauelemente werden im Bereich 0,5 V bis 10,0 V untersucht.

**Zur Durchführung und Auswertung.** Bei Aufgabe 1 können die Schüler durch Vergleich der aufgenommenen  $I$ - $U$ -Diagramme mit der von ihnen angefertigten Skizze aus der Vorbereitung (2) feststellen, um welches Bauelement es sich jeweils handelt.

Für die Aufgabe 2 zeigt Bild 42 das  $I$ - $U$ -Diagramm.

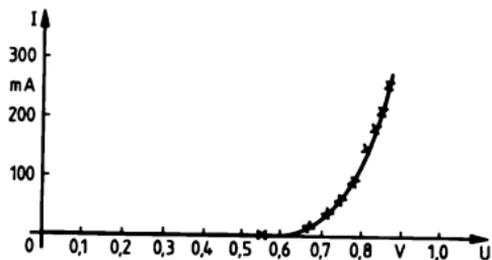


Bild 42 I-U-Diagramm

### P 4/3 Wärmequellen

Die Schüler sollen erkennen, daß ein Tauchsieder energetisch günstiger ist als eine Heizplatte und daß durch Verwenden eines Deckels Energie gespart werden kann.

Zu den Grundlagen.

3. Heizwendel:  $\eta = \frac{Q}{W_{el}} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{U \cdot I \cdot t}$

4. Heizplatte:  $\eta = \frac{Q}{W_{el}} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{P_{el} \cdot t}$

5. Bild 43

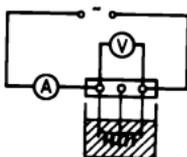


Bild 43 Experimentieranordnung

Zu den Geräten und Hilfsmitteln.

- 1 SVG
- 1 Heizplatte
- 2 Schülermeßgeräte
- 2 Bechergläser 250 ml
- 1 Heizwendel (SEG Kalorik)
- 1 Deckel für Kalorimeter
- 1 Thermometer
- 1 Blech („Reibungsfläche“ aus SEG Mechanik)
- 1 Rührer
- 1 Stativ
- 1 Uhr
- Verbindungsleiter
- Wasser

**Stoffeinheit Atomkerne und Kernstrahlung**

7 Stunden

*Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen die *Arten, Eigenschaften und Wirkungen der Kernstrahlung sowie deren Anwendungsgebiete in der Praxis. Die Schüler lernen die Existenz und einige Eigenschaften von Elementarteilchen kennen und erhalten am Beispiel des Spontanzfalls einen Einblick in statistische Gesetze.*

Eine wesentliche Linienführung der Überzeugungsbildung dieser Stoffeinheit bildet die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Entdeckungsgeschichte kernphysikalischer Erkenntnisse und ihrer praktischen Nutzung. Am Beispiel der Entdeckungsgeschichte der Kernstrahlung erhalten die Schüler einen Einblick in die wissenschaftlichen Leistungen sowie die Willens- und Charaktereigenschaften der hervorragenden Wissenschaftlerin Marie Curie.

Die große Bedeutung kernphysikalischer Forschung für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt ist anhand der umfangreichen Anwendungsgebiete radioaktiver Nuklide in Medizin, Landwirtschaft, Technik und Forschung herauszuarbeiten.

In der Stoffeinheit bestehen vielfältige Möglichkeiten für die Vervollkommnung des Könnens der Schüler, wie z. B. das Erläutern von Zerfallsgleichungen, die Durchführung von Analogiebetrachtungen zwischen Elektronen- und Kernstrahlung sowie das Aneignen neuen Wissens mit Hilfe des Lehrbuches. Bei der Umsetzung einer an die Natur gestellten Frage in eine Experimentieranordnung sind die Schüler aktiv einzubeziehen.

Für die Gliederung der Stoffeinheit bieten sich zwei Varianten an.

Variante A:

- Entdeckung der Kernstrahlung und Aufbau des Atomkerns (2 Std.);
- Spontanzfall (2 Std.);
- Eigenschaften, Wirkungen und Anwendungen der Kernstrahlung (3 Std.).

Variante B:

- Entdeckungen, Eigenschaften und Wirkungen der Kernstrahlung (2 Std.);
- Aufbau des Atomkerns, Elementarteilchen und Spontanzfall (3 Std.);
- Nachweisgeräte und Anwendungen der Kernstrahlung (2 Std.).

Die Variante A ist die Grundlage für die folgenden Ausführungen. In der ersten thematischen Einheit werden folgende Schwerpunkte behandelt: die Entdeckungsgeschichte der Kernstrahlung im Zusammenhang mit der Würdigung der wissenschaftlichen Leistungen von Marie Curie, die Zusammensetzung der unterschiedlichen Strahlungsarten und die Weiterentwicklung der Vorstellungen der Schüler über den Aufbau der Stoffe aus Teilchen an-

hand der Eigenschaften der Elementarteilchen. Aufbauend auf dem Wissen der Schüler aus dem bisherigen Physik- und Chemieunterricht über den Aufbau des Atoms werden die Symbolschreibweise für Atomkerne und die Begriffe Nuklid und Isotop eingeführt. Der Spontanzfall stellt eine Form der Kernumwandlung dar. Anhand der Zerfallsgleichungen sind die Veränderungen in Atomkernen herauszuarbeiten, bei denen Kernstrahlung emittiert wird.

In der zweiten thematischen Einheit ist der Spontanzfall und seine statistische Deutung zu behandeln. Es ist hervorzuheben, daß der Spontanzfall eine Form der Kernumwandlung darstellt. Die Schüler lernen bei der Behandlung des Spontanzfalls einen neuen Typ von Naturgesetzen kennen. Die Schüler werden mit einem statistischen Gesetz bekannt gemacht.

In der dritten thematischen Einheit werden die Eigenschaften und Wirkungen der Kernstrahlung sowie deren Anwendung in Medizin, Technik, Landwirtschaft und Forschung behandelt. Es erfolgt zunächst eine Konzentration auf die Eigenschaften und Wirkungen der Kernstrahlung, um darauf aufbauend die Nachweisgeräte und Anwendungsbeispiele sowie das Bestrahlungs-, Durchstrahlungs- und Markierungsverfahren zu behandeln.

Die Schüler sollen folgendes grundlegendes *Wissen und Können* erwerben:

- Aufbau von Atomen und ihre Beschreibung unter Verwendung des Periodensystems der Elemente und der Symbolschreibweise;
- Eigenschaften der Elementarteilchen;
- Zerfallsgleichungen;
- Isotope Kerne und Nuklide;
- Vergleichen von Eigenschaften und Wirkungen von Kernstrahlung und Elektronenstrahlung;
- Aufbau und Wirkungsweise eines Zählrohres;
- Anwendung der Kernstrahlung in Medizin, Industrie, Landwirtschaft und Forschung.

## Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit (Variante A)

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierenden Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<p><i>Entdeckung der Kernstrahlung und Aufbau des Atomkerns</i>                      Entdeckungsgeschichte und Arten der Kernstrahlung                      Symbolschreibweise für Atomkerne                      Nuklide und isotope Kerne                      Eigenschaften der Elementarteilchen</p> <p>2 Std.</p>	<p>Aufbau des Atoms, Eigenschaften der Kernbausteine (Ph 6, Ch 7, 8)</p>	<p>Zählrohrmeßplatz TR 93, Bilder 7, 9, 10, 11, 14                      DE: Nachweis der Kernstrahlung                      AT: Periodensystem der Elemente                      Lindner: Grundriß der Atom- und Kernphysik, S. 69 ff.                      Wolczek: Marie Sklodowska Curie, S. 82 ff.                      Biographien bedeutender Physiker</p>
<p><i>Spontanzerfall</i>                      Erläuterung der Zerfallsgleichungen                      Halbwertszeit und statistische Deutung des Spontanzerfalls                      Altersbestimmung von Objekten mit Hilfe der Halbwertszeit</p> <p>2 Std.</p>	<p>Zusammenhänge über das Verhalten von Einzelobjekten (Bewegungsgesetze der Mechanik)                      Gesetze des chemischen Gleichgewichts (Ch 9)</p>	
<p><i>Eigenschaften, Wirkungen und Anwendungen der Kernstrahlung</i>                      Eigenschaften der Kernstrahlung                      Wirkungen und Nachweisgeräte der Kernstrahlung                      Anwendungen der Kernstrahlung an Beispielen des Durchstrahlungs-, Bestrahlungs- und Markierungsverfahrens</p> <p>3 Std.</p>	<p>Eigenschaften der Elektronenstrahlen, Leitungsvorgänge in Gasen (Ph 9)                      Unverzweigter Stromkreis (Ph 8, 9)                      Erzeugung veränderlicher Teilspannungen (Ph 8)                      Wirkungen von ionisierender Strahlung (Bio 10)                      Füllstands- und Dickenmessung (ESP 10)                      Stoffwechselfvorgänge (Bio 10)</p>	<p>DE: Ablenkbarkeit der Kernstrahlung                      DE: Durchdringungsfähigkeit der Kernstrahlung                      Expansionsnebelkammer R 852, Bilder 11, 13, 14, 15                      SV: Aufbau und Wirkungsweise eines Zählrohres                      DE: Füllstandsmessung                      DE: Dickenmessung                      DE: Aufsuchen von Fehlern in Werkstoffen                      DE: Aufsuchen radioaktiver Nuklide                      Kuznezow: Kernenergie – Schatzkammer des 21. Jahrhunderts, Teubner Verlagsgesellschaft                      Stolz: Radioaktivität, Teil II, Teubner Verlagsgesellschaft</p>

## *Hinweise zur Variante B*

Ziele und Schwerpunkte sowie die meisten methodischen Hinweise stimmen mit denen der Variante A überein. Gegenüber der Variante A sind folgende wesentlichen Unterschiede in der methodischen Konzeption zu beachten:

Nach dem historischen Einstieg wird die Behandlung der Kernstrahlung fortgesetzt. Anschließend erfolgt die Vertiefung der Kenntnisse über den Atomaufbau im Zusammenhang mit der Behandlung der Eigenschaften der Elementarteilchen und des Spontanzerfalls.

Dieses Vorgehen gestattet es, daß der Erkenntnisweg zwischen der Einführung und der Erarbeitung der Kernstrahlung nicht unterbrochen wird. Die Unterrichtsgestaltung zeichnet sich besonders am Anfang dieser Stoffeinheit durch eine starke experimentelle Durchdringung aus. Es werden alle wesentlichen Eigenschaften der Kernstrahlung mit Hilfe von Experimenten erarbeitet. Damit wird beabsichtigt, die Potenzen der Arbeit mit dem Experiment für die Entwicklung des Interesses der Schüler an den Inhalten der Kernphysik sehr früh einzusetzen.

Schwerpunkte der ersten thematischen Einheit sind:

- Entdeckungsgeschichte und Arten der Kernstrahlung;
- Eigenschaften der Kernstrahlung;
- Wirkungen der Kernstrahlung.

Schwerpunkte der zweiten thematischen Einheit sind:

- Aufbau des Atomkerns und Symbolschreibweise für Atomkerne;
- Nuklid und isotope Kerne;
- Eigenschaften der Elementarteilchen;
- Spontanzerfall und Erläuterung der Zerfallsgleichungen;
- Halbwertszeit und statistische Deutung des Spontanzerfalls,
- Altersbestimmung von Objekten mit Hilfe der Halbwertszeit.

Schwerpunkte der dritten thematischen Einheit sind:

- Nachweisgeräte der Kernstrahlung;
- Anwendungen der Kernstrahlung am Beispiel des Durchstrahlungs-, Bestrahlungs- und Markierungsverfahrens.

## *Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten*

### **Entdeckung der Kernstrahlung und Aufbau des Atomkerns**

2 Stunden

Im Mittelpunkt dieser thematischen Einheit stehen die Entdeckungsgeschichte der Kernstrahlung und die Weiterentwicklung der Vorstellungen der Schüler vom Aufbau des Atomkerns. Neu eingeführt werden die Begriffe Elementarteilchen, Nuklid, isotope Kerne und die Symbolschreibweise für Atomkerne.

Ziele

Die Schüler

- kennen die Entdeckungsgeschichte der Kernstrahlung;
- wissen, daß  $\alpha$ -,  $\beta^-$ -,  $\beta^+$ - und  $\gamma$ -Strahlung Arten der Kernstrahlung sind;
- wissen, daß Elementarteilchen die kleinsten Bausteine der Natur sind und kennen ihre wesentlichen Eigenschaften;
- können den Aufbau des Atoms unter Verwendung des Periodensystems und der Symbolschreibweise beschreiben;

- können die Begriffe Nuklid und isotope Kerne an Beispielen erläutern;
- kennen die wissenschaftliche Leistung sowie die Charakter- und Willenseigenschaften von Marie Curie.

Unterrichtsmittel

Zählrohradapter mit Zählrohr

Unterrichtsquellensatz

T-R 93

AT - PSE

Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Varianten zur Einführung in das Stoffgebiet.** Es bieten sich folgende Varianten an:

- Führung eines Unterrichtsgesprächs auf der Grundlage des Einführungsabschnittes des Lehrbuches;
- Gestaltung eines Lehrvortrages auf der Grundlage aktueller Presseinformationen über die Anwendung kernphysikalischer Erkenntnisse bzw. über Abrüstungsvorschläge oder Kernwaffentests;
- Berichten über die Entdeckungsgeschichte der Kernstrahlung.

**Arten der Kernstrahlung.** Als Einführungsexperiment können der Unterrichtsquellensatz und nichtradioaktive Stoffe vor ein Zählrohr gehalten werden, das an den Zählrohradapter angeschlossen ist. Die akustischen Signale, die vom Unterrichtsquellensatz im Zählrohradapter ausgelöst werden, dienen als Nachweis für eine Strahlung, die ihren Ursprung im Atomkern hat. Sie wird als Kernstrahlung oder radioaktive Strahlung bezeichnet. Um den Schülern ein weiteres „Phänomen“ der Kernstrahlung zu demonstrieren, wird zwischen den Co-Strahler des Unterrichtsquellensatzes und das Zählrohr ein Buch geschoben. Von den Schülern wird festgestellt, daß die Kernstrahlung Stoffe durchdringt. Der Co-Strahler wird mit dem Kr-Strahler ausgetauscht. Die Schüler registrieren, daß diese Strahlung vom Buch vollständig absorbiert wird. Ausgehend von diesen Experimenten werden die Strahlungsarten und ihre Zusammensetzung erläutert.

Möglich ist auch, erst die Entdeckungsgeschichte der Kernstrahlung zu behandeln und anschließend anhand der oben beschriebenen qualitativen Experimente die Arten der Kernstrahlung einzuführen.

**Entdeckungsgeschichte der Kernstrahlung.** Im Zusammenhang mit der Entdeckungsgeschichte der Kernstrahlung sind sowohl die wissenschaftlichen Leistungen von Marie Curie als auch ihre Charakter- und Willenseigenschaften zu würdigen. Diese Zielstellung kann durch einen Lehrvortrag erziehungswirksam gestaltet werden, indem die Diapositive 7, 9, 11 und 14 der Reihe T-R 93 genutzt werden, die die schwierigen Arbeitsbedingungen von Marie Curie darstellen. Es sind besonders der starke Wille und die Beharrlichkeit von Marie Curie hervorzuheben, die sich z. B. in ihrer mühevollen Arbeit bezüglich der Gewinnung von Radium widerspiegeln. Ihren von tiefem Humanismus geprägten Charakter sowie ihr selbstloses Streben nach neuen Erkenntnissen kann der Lehrer für die Schüler überzeugend würdigen, wenn er Marie Curie zitiert (Lit.: Wolczek: Marie Skłodowska-Curie, S. 82 ff., bzw. Physik in der Schule, Heft 4/1987, Biographien bedeutender Physiker). Der Lehrer findet im „Grundriß der Atom- und Kernphysik“ von H. Lindner, S. 69 ff., Hinweise zur Entdeckungsgeschichte der Kernphysik.

**Aufbau des Atomkerns. Symbolschreibweise.** Um die Entstehung der Kernstrahlung erklären zu können, sind die Begriffe Kernladungszahl, Massenzahl und Ordnungszahl aus physikalischer Sicht zu erläutern. Es ist besonders auf ihre Bestimmung anhand des Perio-

densystems einzugehen. Dabei sind Kenntnisse aus dem Physik- und Chemieunterricht zu reaktivieren. Zur eindeutigen Charakterisierung eines Atomkerns ist die Symbolschreibweise einzuführen. In einer Übung sind sowohl das Bestimmen von Protonen-, Neutronen- und Massenzahlen anhand der Symbolschreibweise für Atomkerne zu festigen als auch die Symbolschreibweise für Atomkerne unter Verwendung des Periodensystems.

**Nuklid und isotope Kerne.** Zur Einführung des Begriffes isotope Kerne können die Schüler aufgefordert werden, anhand der Tabelle im Lehrbuch, S. 126, die Neutronen- und Protonenzahl der Urkerne zu vergleichen. Im Unterrichtsgespräch sollten die quantitativen (Merksatz, LB, S. 125) und die qualitativen Begriffsmerkmale (gleiche chemische, aber unterschiedliche physikalische Eigenschaften) erarbeitet werden. Der Begriff Nuklid (Atomkernart) sollte vom Lehrer erläutert werden.

**Elementarteilchen.** Im Mittelpunkt der Behandlung der Elementarteilchen steht die Lösung des folgenden Problems: Wie entstehen die bei der  $\beta$ -Strahlung emittierten Elektronen bzw. Positronen, die nicht Bestandteile der Atomkerne sind? Der Begriff Elementarteilchen kann schrittweise eingeführt werden, indem zunächst die bekannten Bausteine der Atome (Proton, Neutron, Elektron) als Elementarteilchen bezeichnet und ihre wesentlichen Eigenschaften (Masse, Ladung) hervorgehoben werden. Die Symbolschreibweise für Atomkerne wird auf die der Elementarteilchen übertragen. Als völlig neue Eigenschaft bestimmter Elementarteilchen ist ihre Umwandelbarkeit herauszuarbeiten. Die Umwandlungsgleichungen für das Proton und Neutron werden erläutert, indem auf die Erhaltung der Ladung und der Masse hingewiesen wird. Dabei ist als weiteres Elementarteilchen das Positron einzuführen.

## Spontanzerfall

2 Stunden

Die Einführung des Begriffes Spontanzerfall sollte im Zusammenhang mit dem Begriff instabile Kerne erfolgen. Anhand der Zerfallsgleichungen sind die Veränderungen in Atomkernen herauszuarbeiten, bei denen eine  $\alpha$ -,  $\beta^-$ - oder  $\beta^+$ -Strahlung emittiert wird. Bei der Einführung der physikalischen Größe Halbwertszeit geht es vorrangig darum, den stochastischen Charakter des Spontanzerfalls herauszuarbeiten. Die praktische Bedeutung der Halbwertszeit wird am Beispiel der Altersbestimmung in der Mineralogie und Archäologie erläutert. Abschließend sollten wesentliche Merkmale des Spontanzerfalls anhand des Lehrbuches systematisiert werden.

## Ziele

### Die Schüler

- wissen, daß für Spontanzerfall statistische Gesetze gelten;
- wissen, daß mit Hilfe der Halbwertszeit Altersbestimmungen in der Mineralogie und Archäologie durchgeführt werden;
- können Zerfallsgleichungen erläutern;
- können Vorgänge bei Kernumwandlungen mit Hilfe statistischer Gesetze beschreiben.

## Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Spontanzerfall und Erläuterung der Zerfallsgleichungen.** Der Begriff Spontanzerfall sollte schrittweise im Unterrichtsgespräch erläutert werden. Aus der Wiederholung der Arten der Kernstrahlung und ihrer Zusammensetzung wird folgende Problemstellung erarbeitet: Welche Veränderungen müssen in den Atomkernen eintreten, wenn Nuklide  $\alpha$ -Teilchen oder Elektronen oder Positronen emittieren? Für die  $\alpha$ -Strahlung wird die Symbolschreibweise an-

gegeben und anschließend mit den Schülern die Zerfallsgleichung erarbeitet (Bild 44). Im Zusammenhang mit der Emission der  $\beta^-$ - und  $\beta^+$ -Strahlung ist die Frage nach der Herkunft der Elektronen bzw. Positronen zu klären, indem auf die Umwandelbarkeit der Elementarteilchen zurückgegriffen wird. Beim Erläutern der Zerfallsgleichungen sollten folgende zwei Fragen beantwortet werden:

## Der Spontanzerfall - eine Form der Kernumwandlung

$\alpha$ - Strahlung	Emission von Heliumkernen ( ${}^4_2\text{He}$ ) ${}^{238}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\alpha$ Elementumwandlung
$\beta^-$ - Strahlung	Emission von Elektronen ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$ ${}^{239}_{93}\text{Np} \rightarrow {}^{239}_{94}\text{Pu} + {}^0_{-1}e$ Elementumwandlung
$\beta^+$ - Strahlung	Emission von Positronen ${}^1_1p \rightarrow {}^1_0n + {}^0_{+1}e$ ${}^{30}_{15}\text{P} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^0_{+1}e$ Elementumwandlung
$\gamma$ - Strahlung	elektromagn. Strahlung, <u>keine</u> Elementumwandlung

Bild 44 Tafelbild zum Spontanzerfall

- Was für eine Kernumwandlungsform beschreibt diese Gleichung?
- Welche Aussagen enthält diese Gleichung?

**Halbwertszeit.** Am Beispiel des Spontanzerfalls des Radiums (Lehrbuch, S. 126) kann der Begriff Halbwertszeit eingeführt werden. Im Unterricht sollten folgende zwei Aspekte des Spontanzerfalls hervorgehoben werden, um die Schüler an den Charakter statistischer Gesetze heranzuführen:

- Über den Zeitpunkt des Zerfalls eines einzelnen Atomkerns kann keine Aussage getroffen werden.

Ausgehend vom unregelmäßigen Knacken im Lautsprecher des Zählrohradapters ist hervorzuheben, daß der einzelne Kernzerfall zufällig erfolgt. Es kann nicht vorhergesagt werden, wann sich ein bestimmter Atomkern umwandelt.

- Über das Zeitintervall des Zerfalls einer großen Anzahl von Atomkernen kann eine exakte Aussage gemacht werden.

Anhand der Zerfallskurve des Radiums kann mit den Schülern erarbeitet werden, daß in gleichen Zeitintervallen immer der gleiche Anteil von Atomen zerfällt. Diese Tatsache ermöglicht die Einführung der Größe Halbwertszeit, die eine exakte Aussage über eine große Anzahl von Atomen und die Zeit macht, aber nicht über das einzelne Atom. Den Schülern wird mitgeteilt, daß man solche Gesetze statistische Gesetze nennt. Indem Bezug genommen wird auf die bisher behandelten Gesetze, z. B. die Bewegungsgesetze der

Mechanik, sollte hervorgehoben werden, daß es unterschiedliche physikalische Gesetze gibt. Diese verbindet die Gemeinsamkeit, daß sie erkennbar sind und daß sie eine Voraussage über bestimmte Naturvorgänge gestatten.

**Altersbestimmung von Objekten mit Hilfe der Halbwertszeit und Systematisierung des Spontanzerfalls.** Die Methoden zur Altersbestimmung von Objekten mit Hilfe der Halbwertszeit können im Lehrer- oder Schülervortrag erläutert werden. Es sollte der Lehrbuchtext auf der Seite 130 genutzt werden.

Zum Schluß kann eine Systematisierung des Spontanzerfalls erfolgen, indem folgende Merkmale herausgearbeitet werden: Emission von Kernstrahlung, Elementumwandlung bei Teilchenstrahlung, Wirken von statistischen Gesetzen, keine äußere Beeinflussbarkeit des Spontanzerfalls.

## **Eigenschaften, Wirkungen und Anwendungen der Kernstrahlung**

3 Stunden

Die Schüler können auf der Grundlage ihrer Kenntnisse über die Arten der Kernstrahlung Voraussagen über die Eigenschaften der Kernstrahlung machen. Dabei bietet sich folgende Schrittfolge an:

- Formulierung einer experimentellen Fragestellung zur Untersuchung der Eigenschaften der Kernstrahlung;
- Wiederholen der bisherigen Kenntnisse über Kernstrahlung;
- Entwerfen einer Experimentieranordnung zur Untersuchung der Eigenschaften der Kernstrahlung.

Bei der Behandlung der Wirkungen der Kernstrahlung erkennen die Schüler, daß bei der Wechselwirkung von Kernstrahlung mit Stoffen eine Energieübertragung stattfindet.

### **Ziele**

Die Schüler

- kennen die Eigenschaften der Kernstrahlung;
- wissen, daß die Kernstrahlung mit Hilfe von Zählrohr, fotografischer Schicht und Nebelkammer nachgewiesen werden kann;
- können den Aufbau eines Zählrohres beschreiben und dessen Wirkungsweise erklären;
- können die Wirkungen der Kernstrahlung mit Hilfe ihrer Eigenschaften erklären;
- wissen, daß das Bestrahlungs-, das Markierungs- und das Durchstrahlungsverfahren wichtige Anwendungsverfahren der Kernstrahlung in Industrie, Landwirtschaft, Medizin und Forschung sind;
- können die Anwendungsverfahren der Kernstrahlung anhand der Eigenschaften und Wirkungen erklären.

### **Unterrichtsmittel**

Zählrohrmeßplatz mit Unterrichtsquellensatz  
2 Spulen (750 Wdg.) mit U-Kern und Polschuhen  
Absorptionsplattensatz  
Expansionsnebelkammer  
Karten (10 cm × 50 cm × 50 cm)  
R 996, R 852

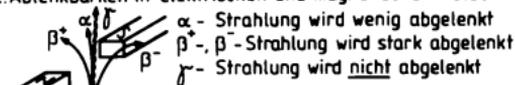
**Eigenschaften der Kernstrahlung und Hinweise zum experimentellen Nachweis.** Die geradlinige Ausbreitung der Kernstrahlung kann mit Hilfe des Lehrbuches erarbeitet werden.

Ausgehend von der Ablenkbarkeit der Elektronenstrahlung im elektrischen und magnetischen Feld (Braunsche Röhre) sollte diese Erscheinung bezüglich der Kernstrahlung untersucht werden. Die Schüler können aufgrund ihrer Kenntnisse über die Arten und Struktur der Kernstrahlung das Verhalten der Kernstrahlung im Magnetfeld voraussagen. Die Überprüfung der Voraussagen kann mit Hilfe der Kernstrahlung der Na-22-, der Kr-85-, der Co-60-Quelle und eines Elektromagneten (Bild 45) erfolgen.

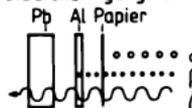
## Eigenschaften der Kernstrahlung

1. geradlinige Ausbreitung

2. Ablenkbarkeit in elektrischen und magnetischen Feldern



3. Durchdringungsfähigkeit ist abhängig von der Strahlenart,



Schichtdicke und der Art  
des durchstrahlten Stoffes

Bild 45 Tafelbild  
zu Eigenschaften  
der Kernstrahlung

Um zu untersuchen, wovon die Durchdringungsfähigkeit der Kernstrahlung abhängig ist, werden zunächst Experimentiervorschlage mit den Schülern diskutiert. Dabei sind die Kenntnisse über die Kernstrahlung aus dem Wehrunterricht einzubeziehen.

Bezugnehmend auf die qualitativen Experimente bei der Einführung der Kernstrahlungsarten kann die Abhängigkeit der Durchdringungsfähigkeit von der Strahlungsart experimentell untersucht werden, indem zwischen Strahlungsquelle und Zahlrohr ein dünnes Buch geschoben wird. Die Kernstrahlung des Kr-85 wird bereits durch das Buch absorbiert, während bei Co-60 keine Intensitätsabnahme registriert wird.

Zum Nachweis der Abhängigkeit der Durchdringungsfähigkeit der Kernstrahlung von der Schichtdicke können die Strahlenquelle Kr-85 und der Aluminiumplattensatz verwendet werden. Als sehr zeiteffektiv erweist sich die analoge Zahlratenmessung mit Hilfe des Meßverstärkers BM 1 (PhIS 6/1983; 7/8/1986). Um die Abhängigkeit der Durchdringungsfähigkeit von der Art des durchstrahlten Stoffes nachzuweisen, wird als Quelle Co-60 verwendet. Als Absorber werden 6 mm Aluminium, 6 mm Blei und 6 mm Plaste benutzt. Es ergeben sich deutliche Unterschiede in der Zählrate.

**Wirkungen der Kernstrahlung.** Die einzelnen Wirkungen können im Unterrichtsgespräch mit Hilfe des Lehrbuches herausgearbeitet werden. An Beispielen für das Leuchten von Ziferblattern im Dunkeln (Marschkompa, ältere Uhren, Armaturen in Flugzeugen und Schiffen) wird nachgewiesen, daß bestimmte Stoffe (Zinksulfid) durch Kernstrahlung zum Leuchten angeregt werden. Zur Erläuterung der Wirkungen von Kernstrahlung auf den lebenden Organismus können die Diapositive 11, 13, 14 und 15 der Reihe R 852 einbezogen werden.

**Nachweisgeräte der Kernstrahlung.** Ausgehend von einer Wiederholung der Leitungsvor-

gänge in Gasen kann in einem Schülervortrag der Aufbau eines Zählrohres beschrieben und seine Wirkungsweise erklärt werden (Bild 46). Die Ionisation im Zählrohr kann wie folgt demonstriert werden: Die dünne schwarze Lichtschutzschicht eines Zählrohres wird an einer Stelle vorsichtig mit Aceton abgewaschen. Bringt man in die Nähe eines solchen Zählrohres, das an den Zählrohradapter angeschlossen ist, einen radioaktiven Strahler, so leuchtet das Füllgas des Zählrohres bei jedem Impuls auf (Ionisation). Die Information über den Aufbau und die Wirkungsweise der Nebelkammer sollte nicht über die des Lehrbuchtextes hinausgehen.

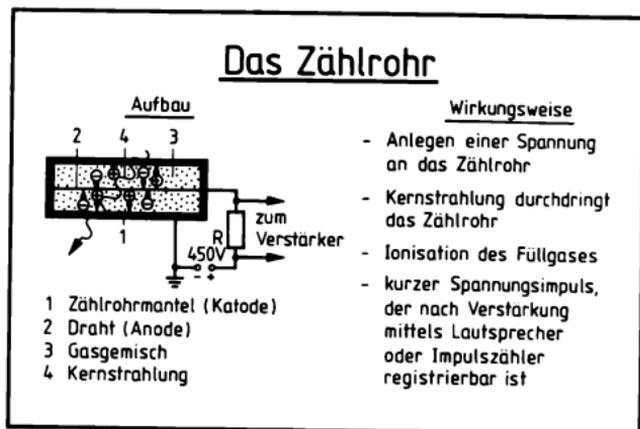


Bild 46 Tafelbild zum Zählrohr

**Anwendungen der Kernstrahlung.** Die Behandlung von Anwendungen der Kernstrahlung in Medizin, Landwirtschaft und Industrie sollte genutzt werden, um den Schülern zu zeigen, wie die Physik zum wissenschaftlich-technischen Fortschritt beiträgt. Eine günstige Variante für die Behandlung der Anwendungsgebiete der Kernstrahlung (Bestrahlungs-, Durchstrahlungs- und Markierungsverfahren) ist die folgende: Ausgangspunkt der Betrachtungen ist jeweils der Verwendungszweck des getroffenen Anwendungsverfahrens. Anschließend kann die Demonstration des Verfahrens anhand einer Abbildung (Lehrbuchabbildung, Bildmaterial aus populärwissenschaftlicher Literatur, Diapositive der Serie R 996) bzw. anhand eines Modellexperimentes wie z. B. Prinzip der Dickenmessung, Prinzip der Füllstandsmessung und Aufsuchen von Fehlern in Werkstoffen erfolgen. Die Erklärung der Anwendungsverfahren erfolgt auf der Grundlage der Eigenschaften und Wirkungen der Kernstrahlung.

Beim Beschreiben von Anwendungsbeispielen des *Bestrahlungsverfahrens* können die Diapositive 10, 11 und 13 der Reihe R 995 eingesetzt werden. Im Tafelbild sollten für alle Anwendungsverfahren Beispiele übersichtlich dargestellt werden.

Die *Markierung* des Transports verschiedener Flüssigkeiten in Rohrleitungen (Pipeline) kann wie folgt experimentell simuliert werden: Der Co-60-Strahler wird mit Hilfe einer Gummimuffe an einem Stativstab befestigt und in ein Plastrohr geführt. Außerhalb des Plastrohres kann die Bewegung des Co-60-Strahlers, der den Transport einer mit radioaktiven Nukliden markierten Ölschicht simuliert, mit Hilfe des Zählrohres verfolgt werden. Experimentelle Hinweise zum Aufsuchen von radioaktiven Nukliden findet der Lehrer in PSE Aufbau der Stoffe.

Eine andere Variante besteht darin, die einzelnen Anwendungsverfahren als Konstruktionsproblem anzulegen, wie es am Beispiel des *Durchstrahlungsverfahrens* vorgestellt wird. Aluminiumfolie wird durch Walzen hergestellt. Eine Folie von 0,1 mm Dicke verläßt die Walzmaschine mit einer Geschwindigkeit von  $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ .

- Wie kann eine Dickenmessung vorgenommen werden, ohne den Produktionsablauf zu stoppen?
  - Welche Eigenschaften bzw. Wirkungen der Kernstrahlung können zur Lösung dieses Problems genutzt werden?
  - Erläutern Sie Ihre Lösungs idee anhand einer Zeichnung!
- Weitere Anwendungsbeispiele zum Durchstrahlungsverfahren findet der Lehrer in der angegebenen Literatur von Kuznezow und Stolz. Die Diapositive 3, 4, 5, 6, 7 der Reihe 996 sollten genutzt werden.

## **Stoffeinheit Künstliche Kernumwandlungen**

5 Stunden

### *Ziele und inhaltliche Schwerpunkte*

Im Mittelpunkt dieser Stoffeinheit stehen künstliche Kernumwandlungen, die Energiefreisetzung durch Kernspaltung und Kernfusion, der Aufbau und die Wirkungsweise eines Kernreaktors sowie die Geschichte der Entwicklung von Kernwaffen, der verbrecherische Einsatz dieser Waffen durch den USA-Imperialismus. Anhand des Einsatzes der Atombomben im 2. Weltkrieg durch die USA wird belegt, daß eine antihumane Verwertung wissenschaftlicher Erkenntnisse aus der Unterordnung ihrer Nutzung unter die Profit- und Machtinteressen des Imperialismus resultiert. Es soll die Einsicht vertieft werden, daß sich die Entwicklung der Physik stets innerhalb gesellschaftlicher Bedingungen vollzieht. In diesem Zusammenhang sind die Haltungen und Motive bedeutender Physiker bei ihrem Wirken für eine friedliche Nutzung der Kernenergie zu werten. Damit liegt der Behandlung dieser Stoffeinheit auch hier die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Entdeckungsgeschichte kernphysikalischer Erkenntnisse und ihrer praktischen Nutzung zugrunde. In der Stoffeinheit bestehen vielfältige Möglichkeiten für die Vervollkommnung des Könnens der Schüler, wie z. B. das Erläutern der Gleichungen für künstliche Kernumwandlungen, das Berichten über kernphysikalische Entdeckungen sowie das Aneignen neuen Wissens mit Hilfe des Lehrbuches, populärwissenschaftlicher Literatur und aktueller Presseinformationen. Die Schüler sind zu befähigen, eine parteiiche Wertung der Haltung und Motive bedeutender Physiker bei der Anwendung kernphysikalischer Erkenntnisse, insbesondere bei der Entwicklung und Anwendung von Kernwaffen vorzunehmen.

Die Stoffeinheit kann in folgende zwei thematische Einheiten gegliedert werden:

- Historische und praktisch bedeutsame künstliche Kernumwandlungen;
- Kernspaltung, Kernfusion und ihre praktische Nutzung.

In der ersten thematischen Einheit werden gezielte Kernumwandlungen als Folge des Auftreffens von Elementarteilchen bzw.  $\alpha$ -Teilchen auf Atomkerne behandelt. Dabei werden exemplarisch die historischen Experimente von Rutherford, Joliot-Curie und die Kernumwandlung zur Gewinnung von spaltbarem Plutonium beschrieben. Es sind solche künstlichen Kernumwandlungen, bei denen keine technisch nutzbare Energiefreisetzung auftritt.

Inhaltliche Schwerpunkte der zweiten thematischen Einheit sind die Entdeckungsgeschichte der Kernspaltung, die Entwicklungsgeschichte der Kernwaffen, das Erläutern der Kernspaltungs- und Kernfusionsgleichungen sowie die Behandlung von Beispielen für die friedliche Nutzung der Kernenergie. Im Zusammenhang mit der Entwicklungsgeschichte der Kernwaffen ist ein differenziertes Werten der politischen Haltungen und Motive von Kernphysikern vorzunehmen. Anhand aktueller Presseinformationen ist der Beitrag der UdSSR

und der anderen sozialistischen Staaten im Kampf gegen die Menschheitsgefährdung durch Kernwaffen hervorzuheben. Als optimistischen Ausklang des Physikunterrichts in der 10. Klasse werden die Schüler über die Bedeutung der Forschungsarbeiten an Fusionsreaktoren für die Energieversorgung der Zukunft informiert.

Die Schüler sollen folgendes grundlegendes *Wissen und Können* erwerben:

- Entdeckung der Kernspaltung und der künstlichen radioaktiven Nuklide sowie deren Nutzung;
- Gleichungen für die Kernspaltung und Kernfusion;
- Aufbau und Wirkungsweise eines Kernreaktors;
- Größenordnungen der durch Verbrennung, Kernspaltung und Kernfusion freiwerdenden Energie;
- Geschichte der Entwicklung der Kernwaffen im Zusammenhang mit der amerikanischen Zielstellung für den Einsatz der Atombomben in Japan;
- Haltungen und Motive bedeutender Physiker bei der Entwicklung und Anwendung von Kernwaffen sowie bei ihrem Wirken für eine friedliche Nutzung der Kernenergie.

## Vorschlag zur Gliederung der Stoffeinheit

Thematische Einheiten, Stundenanzahl	Vorleistungen, zu reaktivierendes Wissen	Experimente, besondere Unterrichtsmittel, Schüleraufträge
<p><i>Historische und praktisch bedeutsame künstliche Kernumwandlungen</i> Einführung des Begriffes künstliche Kernumwandlung Beispiele für künstliche Kernumwandlungen Bedeutung künstlicher Kernumwandlungen für die Praxis</p> <p style="text-align: right;">1 Std.</p>	<p>Alchimisten (Ch 7, 8, Ge 7) Anwendungen der Kernstrahlung (Ph 10)</p>	<p>AT – Künstliche Kernumwandlungen DE: Modellexperiment zur künstlichen Kernumwandlung; PSV 11 KF 27</p>
<p><i>Kernspaltung, Kernfusion und ihre praktische Nutzung</i> Entdeckungsgeschichte der Kernspaltung Kernspaltungsgleichung Friedliche Nutzung der Kernenergie Aufbau und Wirkungsweise eines Kernreaktors Mißbrauch kernphysikalischer Erkenntnisse durch die USA Zur Geschichte der Entwicklung der Kernwaffen sowie Wertung von Forscherpersönlichkeiten der Kernphysik Nukleare Abrüstung – eine Lebensfrage der Menschheit Bedeutung der Forschungsarbeiten an der Entwicklung von Fusionsreaktoren Systematisierung der friedlichen Nutzung kernphysikalischer Erkenntnisse</p> <p style="text-align: right;">4 Std.</p>	<p>Politische Verhältnisse im Jahre 1938/39 in Deutschland (Ge 9) Energieumwandlungen (Ph 7)</p> <p>Aggressivität des Imperialismus (Stabü 9) Die Zerschlagung der faschistischen Aggressoren in Europa und Asien (Ge 9)</p> <p>Friedenskampf (Stabü 10) Energiebedarf und Energiereserven der Erde (Geo 10) Energiefreisetzungsprozesse in Sternen (A 10)</p>	<p>Lindner: Grundriß der Atom- und Kernphysik AT – Kettenreaktion, K-F 26 AT – Atomkraftwerk AT – Vorgänge im Kernreaktor R 996 SV: Aufbau und Wirkungsweise eines Kernreaktors Adolf, W. Das Kernkraftwerk Bruno Leuschner – einige Daten und Fakten, PhiS 7/8/1980 Stulz: Schlaglicht Atom Kant: J. R. Oppenheimer Biographien bedeutender Physiker SV: Nukleare Abrüstung – eine Lebensfrage der Menschheit Bossow, N. B.: Laser-Fusionstechnologie im Dienste des Fortschritts (PhiS 10/1985)</p>

## Empfehlungen zur Gestaltung der thematischen Einheiten

### Historische und praktisch bedeutsame künstliche Kernumwandlungen

1 Stunde

Ausgehend von der historisch ersten Kernumwandlung durch Rutherford sollte zunächst das Prinzip einer Kernumwandlung erläutert werden. Anschließend kann am Beispiel der Herstellung radioaktiver Nuklide und der Gewinnung spaltbaren Materials für den Kernreaktor die praktische Bedeutung künstlicher Kernumwandlungen herausgearbeitet werden.

#### Ziele

##### Die Schüler

- wissen, daß künstliche Kernumwandlungen durch das Eindringen eines Elementarteilchens oder eines  $\alpha$ -Teilchens in einen Atomkern eingeleitet werden;
- wissen, daß eine Kernumwandlung meistens mit einer Elementumwandlung verbunden ist;
- können Kernumwandlungsgleichungen unter besonderer Berücksichtigung der Ladung und der Masse interpretieren.

#### Unterrichtsmittel

Modellexperiment – künstliche Kernumwandlung (PSE Aufbau der Stoffe)

AT Künstliche Kernumwandlungen

K-F 27

#### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Einführung des Begriffes künstliche Kernumwandlung.** Bezugnehmend auf das Bild 136/1 des Lehrbuches kann folgende Problemstellung entwickelt werden: Die Alchimisten versuchten aufgrund mystischer Vorstellungen von den Stoffen, auf künstlichem Wege Gold herzustellen. Die Experimente gelangen nicht. Heute ist man in der Lage, Elemente umzuwandeln. Wie ist das möglich? Welche Veränderungen müssen stattfinden, um aus einem Element ein anderes Element herzustellen? Nach der Diskussion der Vermutungen der Schüler sollte anhand des Modellexperimentes und eines entsprechenden Tafelbildes das Prinzip einer Kernumwandlung erläutert werden. Dabei ist auf das historische Experiment von Rutherford einzugehen.

**Bedeutung künstlicher Kernumwandlungen für die Praxis.** Zur Motivierung für die Herstellung künstlicher radioaktiver Nuklide sollte an die umfangreichen Anwendungsbeispiele radioaktiver Strahlung angeknüpft werden. In den Unterrichtsprozeß ist das historische Experiment von I. und F. Joliot-Curie einzubeziehen. Als weitere Beispiele künstlicher Kernumwandlungen lernen die Schüler die Gewinnung von spaltbarem Plutonium kennen. Bei der Erläuterung der Kernumwandlungsgleichungen ist besonders auf die Erhaltung der Ladung und Masse einzugehen. Die Vorteile der Kernumwandlungen durch Beschuß mit Neutronen (Fermi) werden im Unterrichtsgespräch hervorgehoben. Dabei kann der Kassettenfilm K-F 27 eingesetzt werden.

Eine problemhafte Unterrichtsgestaltung zu Beginn des Stoffabschnittes kann durch die Nutzung von Fragestellungen erreicht werden, vor denen die Physiker bei der Entdeckung der Kernspaltung standen. Die Praxisbezogenheit der Kernphysik kann mit der Frage eingeleitet werden, weshalb die Nutzung kernphysikalischer Erkenntnisse immer wieder in allen Ländern der Welt zu sehr intensiven Diskussionen führt. Es sind sowohl überzeugende Belege für die friedliche Anwendung der Kernphysik (Energiebereitstellung) als auch für den Mißbrauch kernphysikalischer Erkenntnisse (Einsatz von Kernwaffen) herauszuarbeiten. Dieses Faktenwissen liefert den Schülern wesentliche Belege dafür, daß die Ziele für bedeutende physikalische Forschungen und deren Anwendungen durch die herrschende Klasse bestimmt werden.

### Ziele

#### Die Schüler

- können den Aufbau und die Wirkungsweise eines Kernreaktors erläutern;
- kennen die Bedeutung von Kernkraftwerken für die Energiewirtschaft;
- können Größenordnungen bei der Freisetzung von Energie durch chemische Verbrennung, durch Kernspaltung und durch Kernfusion vergleichen;
- kennen die Geschichte der Entwicklung der Kernwaffen in den USA und der UdSSR und gewinnen daraus die Überzeugung, daß die UdSSR gezwungen war, Kernwaffen zu entwickeln, um das militärische Gleichgewicht zu sichern;
- kennen Haltungen und Motive bedeutender Physiker bei der Entwicklung und Anwendung von Kernwaffen sowie bei ihrem Wirken für eine friedliche Nutzung der Kernenergie.

### Unterrichtsmittel

AT Die Kettenreaktion  
AT Vorgänge im Kernreaktor  
AT Atomkraftwerk  
K-F 26  
T-R 92  
R 996

### Schwerpunkte und Hinweise zur Unterrichtsgestaltung

**Entdeckungsgeschichte der Kernspaltung, Kernspaltungsgleichung.** Bezugnehmend auf die historischen Experimente von Rutherford und Joliot-Curie sollte besonders auf die von Fermi aufgestellte Prognose zur Herstellung von Transuranen und deren Überprüfung durch zahlreiche Forschungskollektive in Italien, in Frankreich und in Deutschland eingegangen werden. In diesem Zusammenhang ist die Entdeckung der Kernspaltung in die politischen Verhältnisse jener Zeit einzuordnen. Hinweise zur Entdeckungsgeschichte findet der Lehrer im Lehrbuch und in „Grundriß der Atom- und Kernphysik“ (S. 141 bis 142). Die Kernspaltungsgleichung ist an der Tafel zu entwickeln. Zur Vertiefung des Wissens über die Kernspaltung kann der K-F 26 eingesetzt werden. Eine Begründung für die Energiefreisetzung bei der Kernspaltung wird nicht gegeben.

**Friedliche Nutzung der Kernenergie – Aufbau und Wirkungsweise eines Kernreaktors.** Der Begriff Kettenreaktion sowie die Bedingungen für eine ungesteuerte Kettenreaktion können anhand der Lehrbuchtexte erarbeitet werden. Im Schülervortrag sind der Aufbau eines Kernreaktors zu beschreiben und seine Wirkungsweise zu erläutern. Dabei ist besonders auf

die gesteuerte Kettenreaktion und auf Schutzmaßnahmen zur Abschirmung der radioaktiven Strahlung einzugehen. In diesem Zusammenhang sind die Eigenschaften der Kernstrahlung zu wiederholen. Bezugnehmend auf den Bau des ersten Kernkraftwerkes der Welt in Obninsk bei Moskau im Jahre 1954 sollte auf die gegenwärtige und zukünftige Stellung von Kernkraftwerken eingegangen werden. Dabei sind die folgenden Überzeugungen bei den Schülern herauszubilden:

- Die Umwandlung von Kernenergie in Elektroenergie ist zwingend notwendig. Die fossilen Energieressourcen im Weltmaßstab sind begrenzt.
- Die Menschheit steht am Beginn der Nutzung der Kernenergie. Sie versteht es immer besser, diese unerschöpfliche Energiequelle für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt dienstbar zu machen.
- Es muß gelingen, die Risiken zu beherrschen, die mit der Nutzung der Kernenergie verbunden sind.

Die Behandlung der Kernkraftwerke der DDR schließt sowohl ihre ökonomische Bedeutung für die Energiewirtschaft der DDR als auch ihre Standortverteilung ein. Abschließend können weitere Einsatzmöglichkeiten von Kernreaktoren genannt werden, wie z. B. für den Antrieb der Atomisbrecher „Lenin“, „Arktika“, „Sibir“ und von Unterseebooten. Die Diapositive 15, 16 und 19 der Reihe R 996 können genutzt werden.

**Vorleistungen bezüglich der Behandlung der Entwicklungsgeschichte der amerikanischen Atombomben.** Die Behandlung der Geschichte und Anwendung der Kernwaffen setzt beim Lehrer genaue Kenntnis über historische Zusammenhänge und über die Forscher, die an der Entwicklung beteiligt waren, voraus. Weiterhin muß sich der Lehrer gründlich darüber informieren, über welche Geschichtskennntnisse seine Schüler verfügen. Die Schüler kennen aus dem Geschichtsunterricht in Klasse 9 den Abwurf von Atombomben durch den USA-Imperialismus, sie kennen die Rolle des Atombombenmonopols der USA in der Zeit der Politik der Stärke nach dem 2. Weltkrieg und die Bedeutung der Brechung dieses Monopols durch die UdSSR, und sie kennen aus dem Staatsbürgerkundeunterricht die vielfältigen Friedensoffensiven des Sozialismus gegen die Nuklearstrategie des Monopolkapitals. Das Anliegen des Physikunterrichts besteht darin, bei den Schülern durch naturwissenschaftliche Erkenntnisse die Überzeugung zu stützen, daß es keine Alternative zur Politik der Entspannung und Abrüstung geben kann.

**Geschichte der Entwicklung der amerikanischen Atombomben.** Es kommt besonders darauf an, diese Thematik emotional zu gestalten, den Schülern konzentriert die historischen Zusammenhänge zur Entwicklung und zum Einsatz von Kernwaffen zu erläutern sowie ein parteiliches Wertes der Forscher vorzunehmen, die an der Entwicklung der Kernwaffen beteiligt waren. Diese Zielstellung kann z. B. anhand eines Lehrervortrages mit folgender Gliederung umgesetzt werden:

- Wie kam es zur Entwicklung der Atombomben in den USA?
- Welche Motive und Haltungen bewegten die Wissenschaftler, sich für die Entwicklung der Atombomben einzusetzen?
- Welches Ziel verfolgte der USA-Imperialismus mit dem Einsatz der Atombomben?
- Welche Haltungen wurden von Wissenschaftlern vor und nach dem Atombombenabwurf eingenommen?

Im Lehrervortrag kann die Tonreihe T-R 92 genutzt werden, die einen Bericht über den Einsatz der ersten Atombombe durch die USA in Hiroshima gibt. Dieser Bericht ist emotional gestaltet und entlarft das wahre Gesicht des amerikanischen Imperialismus. Eine Beschreibung des ersten Atombombenabwurfs findet der Lehrer ebenfalls in dem Buch „Schlaglicht Atom“.

**Zum differenzierten Wertes der Haltung und Motive von Forschern, die sich für die Atombombenentwicklung einsetzten.** Bezüglich der Wertung der Haltung und Motive von Forschern sind folgende Akzente zu setzen:

Es ist hervorzuheben, daß es der Mehrzahl der Wissenschaftler, die sich für die Atombombenentwicklung einsetzten, zumindest in der Anfangszeit ehrlich darum ging, die insbesondere von Deutschland drohende faschistische Gefahr zurückzuschlagen. In diesem Sinne sind die Haltungen und Motive Szilards und Einsteins zu verstehen. Einstein unterzeichnete am 2. August 1939 auf Anregung Szilards einen Brief, in dem er den amerikanischen Präsidenten Roosevelt sowohl über die Möglichkeit zur Herstellung von Atombomben informierte als auch darüber, daß das faschistische Deutschland in den alleinigen Besitz einer solchen Waffe gelangen könnte. Einstein und Szilard haben zu diesem Zeitpunkt nicht geahnt, daß die USA später selbst diese Waffe mißbrauchen würden. Nach der Zerschlagung des deutschen Faschismus bedauerte Einstein tief, diesen Brief unterschrieben zu haben. Er sagte: „Wenn ich gewußt hätte, daß die Deutschen nicht an der Atomwaffe arbeiten, hätte ich nichts für die Bombe getan.“

Eine andere Gruppe von Wissenschaftlern der USA, zu ihr zählen die Kernphysiker Teller und Lawrence, stellte sich bewußt in den Dienst des USA-Imperialismus und unterstützte die Politik des Großmachtstrebens und der aggressiven Atombombendiplomatie, indem sie auf die Entwicklung immer furchtbarer Vernichtungswaffen hinarbeitete.

Oppenheimer stand zwischen beiden Gruppen, wenn er auch mehr zur Gruppe von Szilard und Einstein tendierte. Er wird als ein sehr ehrgeiziger Wissenschaftler eingeschätzt, der maßgeblich an der Entwicklung der amerikanischen Atombombe beteiligt war. Aufgrund seiner wissenschaftlichen Leitungsfunktion des Atombombenprojekts wird er oft als „Vater der Atombombe“ bezeichnet. Nach dem Abwurf der Atombombe bedauerte Oppenheimer, daß er als Projektleiter der Atombombe nicht mehr Initiative, Weitsicht und politischen Mut gezeigt hatte, um den Einsatz der Atombombe zu verhindern. Er suchte nach eigenen Wegen, um auf die politischen Entscheidungen Einfluß zu nehmen. Zu nationalen und internationalen Gemeinschaftsaktionen der Wissenschaftler gegen den Mißbrauch der Atomenergie fand er keinen Zugang.

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der Kernwaffen in der UdSSR sind die großen Verdienste des sowjetischen Wissenschaftlers Kurtschatow zu würdigen, der wesentlich dazu beigetragen hat, daß in kürzester Zeit das amerikanische Kernwaffenmonopol gebrochen wurde.

**Nukleare Abrüstung – eine Lebensfrage der Menschheit.** Anhand des Lehrbuchtextes, besonders aber aktueller Informationen, muß die Einsicht vertieft werden, daß die UdSSR, die anderen sozialistischen Staaten und alle friedliebenden Kräfte für eine Welt ohne Kernwaffen kämpfen. Ziel muß es sein, daß die Schüler persönlich zum Friedenskampf Stellung nehmen (SV).

**Bedeutung der Forschungsarbeiten an der Entwicklung von Fusionsreaktoren.** Ist das Energieproblem der Menschheit mit dem Aufbau moderner Kernkraftwerke gelöst? Ausgehend von dieser Frage werden im Unterrichtsgespräch die Grenzen der Uranvorkommen und die der Plutoniumgewinnung hervorgehoben. Anschließend sollte der aus dem Astronomieunterricht bekannte Begriff Kernfusion wiederholt werden. Eine Fusionsgleichung wird an der Tafel erläutert und besonders die freiwerdende Energie betont, indem die Größenordnung bei der Freisetzung von Energie durch chemische Verbrennung, Kernspaltung und Kernfusion verglichen wird. Die Schüler werden über die Bedeutung von Forschungsarbeiten an zukünftigen Fusionsreaktoren für die Energieversorgung informiert. Dabei sollten sowohl die Vorteile zukünftiger Kernfusionskraftwerke gegenüber herkömmlichen Kernkraftwerken herausgearbeitet werden als auch die noch zu lösenden Probleme einer kontrollierbaren Kernfusion.

**Systematisierung der friedlichen Nutzung kernphysikalischer Erkenntnisse.** Als optimistischen Ausklang des Stoffgebietes werden von den Schülern Beispiele für die friedliche Nutzung kernphysikalischer Erkenntnisse erläutert. Dazu kann die Klasse in Gruppen eingeteilt werden, und jede Gruppe erhält eine der folgenden Aufgaben:

- Erläutern Sie an Beispielen, wie die radioaktive Strahlung zum Nutzen des Menschen eingesetzt wird!
- Erläutern Sie an Beispielen, wie künstliche Kernumwandlungen in der Praxis Anwendung finden!
- Erläutern Sie an Beispielen, wie die Kernspaltung und Kernfusion zum Nutzen der Menschen eingesetzt werden können!