Unterrichtshilfen Physik Klasse 12

Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin
1981

Autoren:

Joachim Beyer	Mechanik
Dr. paed. Lothar Meyer	Elektrodynamik – Felder, Vorbemerkungen, 1. bis 3. Stunde und Leitungsvorgänge
Dr. sc. Hans-Joachim Wilke	Felder, 4. bis 19. Stunde
Dr. paed. Günter Sauer	Leitungsvorgänge
Prof. Dr. rer. nat. Manfred Wünschmann	Leitungsvorgänge
Paul Schulze	Relativitätstheorie
Dr. paed. Wieland Müller	Kernenergie
Dr. paed. Doris Meyerhöfer	Praktikum
Dr. paed. Rolf Meyerhöfer	Praktikum

Redaktion: Günter Meyer

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1981
1. Auflage
Ausgabe 1981
Lizenz-Nr. 203/1000/80 (E 022163-1)
LSV 0645
Zeichnungen: Karin Hoppe, Birgit Werwigk
Einband: Erika Kerschner
Typografische Gestaltung: Atelier vwv
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", Bad Langensalza
Schrift: 9/10 Extendet Monotype
Redaktionsschluß: 10. 12. 1980
Bestell-Nr. 707445 3

DDR 7,20 M

Inhalt

Einleitung 7

Stoffgebiet Mechanik 10

Vorbemerkungen 10

Stoffeinheit Kinematik von Translation und Rotation 14

Stoffverteilungsplan 14

1. Stunde: Translation und Rotation 15
2. Stunde: Zeitliche Änderung physikalischer Größen 18
3. Stunde: Gleichförmige Bewegung 21
4. Stunde: Gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung 24
5. Stunde: Übungen 26
6. Stunde: Ort-Zeit-Gesetze 28
7. Stunde: Übungen 29
8. Stunde: Bewegungsgesetze der Rotation 30
9. Stunde: Systematisierung und Leistungskontrolle 32

Stoffeinheit Dynamik von Translation und Rotation 33

Stoffverteilungsplan 33

1. Stunde: Kraft und Drehmoment 35
2. Stunde: Experimentelle Untersuchung zur Winkelbeschleunigung . . . 37
3. Stunde: Trägheitswirkungen bei Rotation 39
4. Stunde: Trägheitsmoment 41
5. Stunde: Übungen zum Trägheitsmoment 43
6. Stunde: Rotationsenergie 45
7. und 8. Stunde: Anwendung, Festigung und Übung zur Kinematik und Dynamik 47
9. Stunde: Leistungskontrolle 49

Stoffgebiet Elektrodynamik 51

Stoffeinheit Felder 51

Vorbemerkungen 51
Stoffverteilungsplan 54

1. Stunde: Das elektrostatische Feld 57
2. Stunde: Kräfte auf elektrisch geladene Körper 59
3. Stunde: Elektrostatisches Feld eines Plattenkondensators 62
4. Stunde: Das magnetostatische Feld 64
5. Stunde: Die magnetische Flußdichte 68
6. Stunde: Das homogene Magnetfeld einer Spule 72
7. Stunde: Stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld 74
8. Stunde: Die Lorentzkraft 76
9. Stunde: Die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons 78
10. Stunde: Die Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld 81
11. Stunde: Die Induktionsspannung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld 83
12. Stunde: Das Induktionsgesetz 86
13. Stunde: Die Induktivität einer Spule 88
14. Stunde: Induktion (Wiederholung und Vertiefung) 90
15. Stunde: Der Generator 91
16. Stunde: Der Motor 94
17. Stunde: Der Transformator 96
18. Stunde: Die untrennbare Verknüpfung des elektrischen und des magnetischen Feldes 99
19. Stunde: Elektrostatische, magnetostatische und elektromagnetische Felder (Schriftliche Leistungskontrolle) 102

Stoffeinheit Elektrische Leitungsvorgänge 103

Vorbemerkungen 103
Stoffverteilungsplan 106

1. Stunde: Allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorganges 109
2. Stunde: Elektrischer Widerstand metallischer Leiter 112
3. Stunde: Gesetze des unverzweigten und des verzweigten Gleichstromkreises 114
4. Stunde: Elektrische Meßgeräte im Stromkreis 116
5. Stunde: Veränderliche Widerstände im Stromkreis 118
6. Stunde: Zeitverlauf und Kenngrößen des Wechselstromes 121
7. Stunde: Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis 123
8. Stunde: Kondensator im Wechselstromkreis 126
9. Stunde: Spule im Wechselstromkreis 128
10. Stunde: Besonderheiten im Zusammenwirken der Bauelemente 130
11. Stunde: Festigung des Wissens über elektrische Leitungsvorgänge . . . 133
12. Stunde: Kennlinien von Glühlampe, Thermistor und Halbleiterdiode . . 134
13. Stunde: Einfluß von Beweglichkeit und Konzentration der wanderungsfähigen Ladungsträger auf den Kennlinienverlauf 136
14. Stunde: *I-U*-Kennlinien und Widerstände von Bauelementen 138
15. Stunde: Steuerung eines Thermistors 141
16. Stunde: Steuerung einer Triode 143

17. Stunde: Steuerung eines Transistors 145
18. Stunde: Festigung durch Systematisierung und Anwendung 147
19. Stunde: Anwendungen elektronischer Bauelemente I 150
20. Stunde: Anwendungen elektronischer Bauelemente II 153
21. Stunde: Kontrollstunde 154

Stoffgebiet Einige Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie 156

Vorbemerkungen 156
Stoffverteilungsplan 157

1. Stunde: Klassische Addition der Geschwindigkeiten 157
2. Stunde: Michelson-Experiment 159
3. Stunde: Relativität der Zeitmessung 162
4. Stunde: Relativistische Addition der Geschwindigkeiten 165
5. Stunde: Masse-Energie-Beziehung 168
6. Stunde: Paarzerstrahlung 170

Stoffgebiet Kernenergie 172

Vorbemerkungen 172
Stoffverteilungsplan 173

1. Stunde: Feld eines Atomkerns — Energietopfmodell 174
2. Stunde: Kernbindungsenergie und Massedefekt 177
3. Stunde: Die Kernbindungsenergiekurve 180
4. Stunde: Die Kernspaltung 183
5. Stunde: Die Kernfusion 185
6. Stunde: Würdigung der gesellschaftspolitischen Haltung von Wissenschaftlern der Kernphysik — Auseinandersetzung mit philosophischen Verallgemeinerungen kernphysikalischer Erkenntnisse 188

Stoffgebiet Praktikum 190

Vorbemerkungen 190
Erläuterungen zu den Gruppen- und Einzelexperimenten 191
Stoffverteilungsplan 192
Organisationsplan 194
Zur Bewertung im physikalischen Praktikum 196

1. Stunde: Vorbereitung des Praktikums 197
Gruppenexperimente 199
Einzelexperimente 217
Arbeitsblätter 225

Einleitung

In den Unterrichtshilfen werden dem Lehrer Vorschläge für die Gestaltung des Unterrichts unterbreitet. Damit sollen Anregungen und Hilfe bei der Planung, der Vorbereitung und Durchführung des Unterrichts gegeben werden. Grundlage des Unterrichts ist der gültige Lehrplan; die Unterrichtshilfen sollen den Lehrer bei der Realisierung der Lehrplanforderungen unterstützen. Die schöpferische Arbeit des Lehrers bei der Verwendung der Unterrichtshilfen besteht in der zweckmäßigen Umsetzung der vermittelten Anregungen und in der Anwendung auf die konkrete Klassen- und Unterrichtssituation.
In den Unterrichtshilfen wird im allgemeinen nur eine von vielen möglichen Formen der methodischen Gestaltung der Unterrichtsstunde dargestellt. Der Lehrer muß stets überprüfen, auf welche Weise er die gegebenen Anregungen schöpferisch nutzt. Entscheidend ist in jedem Falle die Klassensituation.
Bei der Vorbereitung auf den Unterricht entsprechend dem Lehrplan Physik Klasse 12 ist vom Lehrer neben den Lehrplänen der Klassen 6 bis 10 stets das Lehrbuch und das Heft Schülerexperimente zugrunde zu legen.
Für den Schüler ist der gesamte Lehrstoff, dem Lehrplan entsprechend gegliedert, im Lehrbuch Physik dargestellt. Die Anleitungen für die verbindlichen Schülerexperimente und die Gruppenexperimente und Einzelexperimente des Praktikums sind in dem Heft Schülerexperimente zusammengefaßt.
Die Unterrichtshilfen sind wie der Lehrplan gegliedert in die

Stoffgebiete Mechanik, Elektrodynamik, Einige Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie, Kernenergie, Praktikum.
Die Stoffgebiete sind wie der Lehrplan gegliedert in
Stoffeinheiten. Sie werden jeweils behandelt in
Vorbemerkungen,
Stoffverteilungsplan,
Stundenentwurf.

Die **Vorbemerkungen** zur jeweiligen Stoffeinheit sollen den Lehrer mit der Umsetzung des Lehrplanes im Prozeß der Bildung und Erziehung bekanntmachen. Sie sind unter anderem Grundlage für die langfristige Planung des Unterrichts. Dabei wird angestrebt, das Wesentliche des Stoffes, die Stoffschwerpunkte sowie deren Funktion im gesamten Lehrgang und in der betreffenden Stoffeinheit deutlich zu kennzeichnen.
An dieser Stelle werden solche langfristig zu verwirklichenden Zielstellungen genannt, die sich auf die philosophisch-weltanschauliche, politische und moralische Überzeugungsbildung beziehen. Die Vorbemerkungen enthalten Hinweise, wie die

physikalischen Sachverhalte vom Standpunkt des dialektischen Materialismus dargestellt werden, und wie die verschiedenen Methoden (experimentelles Untersuchen und Bestätigen von Naturgesetzen, Einsatz von Modellen) Ausdruck eines dialektisch-materialistischen Herangehens an die Untersuchung von Naturerscheinungen und Prozessen sind.

Der **Stoffverteilungsplan** zeigt eine Möglichkeit, wie die durch den Lehrplan für die Stoffeinheit vorgegebene Anzahl von Unterrichtsstunden effektiv eingesetzt werden kann. Dabei ist berücksichtigt, daß ein ausgewogenes Verhältnis von Stunden für Erstbehandlung (E), Übung (Ü), Wiederholung (W), Anwendung (A), Systematisierung (S) und Kontrolle (K) gesichert wird.

Im Stoffverteilungsplan sind als Vorleistungen und Verbindung zu anderen Fächern wesentliche Beziehungen aufgezeigt. Als Vorleistungen werden dabei solche genannt, die bereits angeeignetes Wissen und Können der Schüler darstellen und entweder aus dem Fach Physik aus einer vorhergehenden Klassenstufe oder aus einem anderen Unterrichtsfach stammen.

Bei den Unterrichtsmitteln sind nur die aufgeführt, die langfristig zu beschaffen bzw. bereitzustellen sind.

Bei den Experimenten sind entweder die verbindlichen Schülerexperimente aufgeführt, oder es wird (z.B. für Lehrerdemonstrationsexperimente) auf die „Physikalischen Schulversuche" (PSV) mit Band- und Experimentnummer entsprechend der neuesten Ausgabe verwiesen.

In dieser Spalte sind außerdem die langfristig zu erteilenden Aufträge für Schülervorträge aufgeführt.

Zur Unterstützung der selbständigen Arbeit der Schüler werden Hinweise gegeben zum Einsatz des Lehrbuches. Dabei wird meist auf bestimmte Strukturelemente wie z.B. Einführungsabschnitte, Formelherleitungen, Bilder, Anwendungsbeispiele, Aufgaben, Experimente, Systematisierungen, Zusammenfassungen, Erkenntniswegdarstellungen orientiert.

Das Lehrbuch enthält zum Beispiel am Anfang einer jeden Stoffeinheit einen Einführungsabschnitt, der zweckmäßig vom Lehrer zur *Motivierung* eingesetzt werden kann.

Entsprechend der Ausführlichkeit der Lehrbuchdarstellung ist dieser Abschnitt des Lehrbuches zur didaktischen Zielstellung und Zielorientierung geeignet. Der Einführungsabschnitt kann auch bei der Arbeit mit dem Lehrbuch in der häuslichen Vorbereitung auf den kommenden Unterricht durch die Schüler genutzt werden. Er dient der Förderung des Erkenntnisinteresses und der Lernbereitschaft.

Die Physik als eine wesentliche Grundlage der gesamten Produktions- und Transporttechnik wird vom Standpunkt der Fachwissenschaft in ihrer Anwendung betrachtet, wo es notwendig erscheint. Dieses Anliegen, den praxisverbundenen Inhalt des physikalischen Bildungsgutes deutlich zu machen, wird in besonders ausgeprägter Form auf mehreren besonderen Lehrbuchseiten unter „Anwendungsbeispiele" dargestellt. Zu den dort erläuterten Beispielen gibt es besondere Problemfragen, die als Hausaufgabe zur Vorbereitung von Kurzvorträgen und bei der Kontrolle dienen können.

Die Systematisierung, vor allem aber das Vertrautwerden der Schüler mit Methoden der Erkenntnisfindung, wird durch entsprechende Zusammenfassungen im Lehrbuch unterstützt.

Insgesamt soll an dieser Stelle auf die große Bedeutung des Lehrbuches für die Gestaltung des Physikunterrichts und der selbständigen Schülerarbeit nochmals verwiesen werden.

Der **Stundenentwurf** ist in mehrere Teile gegliedert.

Stundenziele. Es wird aufgezeigt, welches Wissen, welches Können und welche Überzeugungen den Schülern zu vermitteln sind. Dabei wird davon ausgegangen, daß nur einige wesentliche Ziele genannt werden können, und daß nicht jedes dieser und vieler anderer Ziele in der betreffenden Unterrichtsstunde voll realisiert werden kann.

Unterrichtsmittel. Es werden hier solche Geräte und Materialien genannt, die zusätzlich zu den in den Versuchsbeschreibungen der PSV genannten bereitzustellen sind.

Stundenverlauf. Dieser Abschnitt ist aufgeteilt in die Spalte
Stundengliederung, die Angaben enthält zu den einzelnen Stundenabschnitten, deren didaktische Funktion und die dafür etwa vorgesehene Zeit;

in die Spalte
Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler, die Angaben enthält zu wesentlichen Lehr- und Lerntätigkeiten, zur methodischen Gestaltung der Stundenabschnitte;

in die (breite) Zeile nach den Stundenabschnitten, in der bestimmte zu erzielende Ergebnisse und Erkenntnisschritte formuliert sind.

Erläuterungen zum Stundenverlauf. Es werden zu bestimmten, nicht unbedingt zu allen, Stundenabschnitten Erläuterungen gegeben über den möglichen Unterrichtsverlauf, welche Schwierigkeiten z.B. der Stoff enthält, welche Erkenntnisschwierigkeiten auftreten können und welche Varianten bei der Erkenntnisfindung u. U. angewendet werden können.

Tafelbild. Es enthält wesentliche Ergebnisse der Stunde und dient der Veranschaulichung des erarbeiteten physikalischen Sachverhalts.

Arbeitsblatt. Es sind zu verschiedenen Stunden mit bestimmter didaktischer Funktion Arbeitsblätter entworfen, die in der Stunde eingesetzt werden können und dadurch eine effektive Stoffvermittlung, Übung, Systematisierung oder auch Kontrolle ermöglichen.

Abkürzungen. In diesen Unterrichtshilfen bedeuten

A	= Anwendung	Ma	= Mathematik
AB	= Arbeitsblatt	Ph	= Physik
Abb	= Abbildung	PhiS	= Zeitschrift „Physik in der Schule“
AT	= Anschauungstafel		
Bio	= Biologie	PSV	= Physikalische Schulversuche
DE	= Demonstrationsexperiment	R	= Lichtbildreihe
E	= Erstbehandlung, Einführung	SE	= Schülerexperiment
EE	= Einzelexperiment	SSA	= Selbständige Schülerarbeit
Exp	= Experiment	SV	= Schülervortrag
F	= Film	S	= Systematisierung
FO	= Folie	TB	= Tafelbild
Fst	= Festigung	TBa	= Tonband
GE	= Gruppenexperiment	TF	= Tonfilm
Gesch	= Geschichte	TR	= Tonbildreihe, Ton-Diafilm
HA	= Hausaufgaben	TuF	= Tabellen und Formeln (Tafelwerk)
KF	= Kassettenfilm		
Kls	= Klassensatz	Ü	= Übung
K	= Kontrolle	UG	= Unterrichtsgespräch
LB	= Lehrbuch	UM	= Unterrichtsmittel
LBA	= Lehrbuchabbildung	W	= Wiederholung
LP	= Lehrplan	WiPh	= Wissensspeicher Physik
LV	= Lehrervortrag	Z	= Zusammenfassung

Vorbemerkungen

Der Physikunterricht in der Klasse 12 beginnt mit der Behandlung der Kinematik und Dynamik von Translation und Rotation. Vom Lehrplan ist vorgesehen, aus dem Unterricht in Klasse 9 und 11 bekannte Begriffe und Aussagen unter Anwendung der Infinitesimalrechnung vertieft zu behandeln. Die Gesetze zur Kinematik der Rotation starrer Körper werden in Analogie zu den Gesetzen zur Kinematik der Translation gewonnen. Bei solch einer rationellen Wissensvermittlung verbleibt zur Übung, Festigung und Anwendung des Gelernten ausreichend Zeit. Den Schülern werden dabei nicht nur physikalische Tatsachen, sondern vor allem physikalische Denkweisen sehr deutlich bewußt gemacht. Die Mechanik ist eins der sogenannten traditionellen Stoffgebiete der Physik, und die Gesetzmäßigkeiten sind zum Teil schon jahrhundertelang bekannt. Den Schülern soll bewußt werden, daß diese Gesetzmäßigkeiten nach wie vor von großer Bedeutung für den wissenschaftlich-technischen Fortschritt unserer Gesellschaft sind. Eine wichtige Aufgabe des Lehrers besteht darin, dieses Stoffgebiet „praxisnah" zu lehren, um eine positive Einstellung der Schüler zu diesem Stoffgebiet zu erreichen. Zur Unterstützung für den Lehrer wurde deshalb im Lehrbuch an sehr vielen Stellen auf vielfältige Beispiele aus den verschiedenen Bereichen der Gesellschaft Bezug genommen. Der umfangreiche Aufgabenteil mit zum Teil sehr hohem Anspruchsniveau dient der gleichen Aufgabe, die Schüler vor hohe Leistungsanforderungen zu stellen, zugleich aber zu zeigen, welche Bedeutung der Mechanik zukommt.
Der Unterricht beginnt mit einer kurzen Wiederholung einiger grundlegender Begriffe vor allem aus dem Stoff des 9. Schuljahres: Bewegung, Geschwindigkeit, Beschleunigung. Dann werden die Bewegungsformen Translation und Rotation unterschieden und, ausgehend vom realen Körper, durch Abstraktion die Denkmodelle Massepunkt und starrer Körper eingeführt. Danach werden

- die Größen zur Beschreibung des Bewegungsablaufes definiert,
- die Gesetze der Kinematik von Translation und Rotation
- und die Gesetze zur Dynamik der Rotation hergeleitet.

In der methodischen Konzipierung sind dabei wesentliche Unterschiede zwischen der Kinematik und der Dynamik zu beachten. Die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsgrößen werden für Translation und Rotation formal völlig gleichartig definiert. Demzufolge sind daraus die Gesetze der Kinematik auf ebenso gleichartige Weise herleitbar. Dieser Weg wird jedoch nicht jedesmal erneut gegangen, sondern durch Analogiebetrachtungen werden sofort die Bewegungsgesetze der anderen Bewegungsform formuliert.

In der Stoffeinheit Dynamik der Translation und Rotation werden Antriebswirkungen und Trägheitswirkungen an den Körpern untersucht. Drehmoment und Trägheitsmoment als die entsprechenden physikalischen Größen sind jedoch mit Kraft und Masse nicht identisch und den Schülern auch nicht definitiv bekannt. Folglich lassen sich der Translation analoge Größen und Gesetze für die Rotation allenfalls vermuten, aber nicht mit zwingender Logik erschließen. Deshalb schreibt der Lehrplan hier eine experimentelle Behandlung und Herleitung im Unterricht vor.

Das Modelldenken ist tragende Grundlage des gesamten Physikunterrichtes. Die Schüler erkennen auch in diesem Stoffgebiet deutlich die Bedeutung und auch die Grenzen von Denkmodellen. Zur Beschreibung der Translation erweist sich das Denkmodell Massepunkt als geeignet, d. h., der reale Körper wird durch ein Modell ersetzt, in dem ein Objekt endlicher Masse das Volumen Null hat. Seit der Klasse 9 sind die Schüler gewohnt, mit diesem Modell zu arbeiten. Für die Beschreibung der Rotation ist es jedoch ungeeignet. Das hier verwendete Denkmodell starrer Körper sollte von Anfang an im Sinne eines trägen Kontinuums verstanden werden. Auch bei einer Zerlegung, wie sie zur Berechnung von Trägheitsmomenten erforderlich werden kann, kommen jedem Element Masse und Volumen zu.

Durch den bei der Integration vorgenommenen Grenzübergang wird jedoch das Denkmodell starrer Körper auf das Modell Massepunkt zurückgeführt. Diese Tatsache macht deutlich: Die Gesetze der Rotation gelten nicht etwa unabhängig von denen der Translation. Wenn man einen Körper als ein System starr verbundener Massepunkte auffaßt, dann ist es jedoch zweckmäßig, für diese Gesamtheit auch ein dementsprechendes Denkmodell zu benutzen. Von der Klasse 6 an sind Teilprobleme der Mechanik in fast jedem Schuljahr Unterrichtsgegenstand. Bis zur Abiturstufe erwerben die Schüler umfassende Kenntnisse auf hoher Abstraktionsstufe. Im Staatsbürgerkundeunterricht haben sie Grundlagen der marxistischen Philosophie kennengelernt. Hier ergeben sich Gelegenheiten zu Hinweisen und Querverbindungen. So erkennen die Schüler auch aus den Beispielen der Mechanik das Wesen

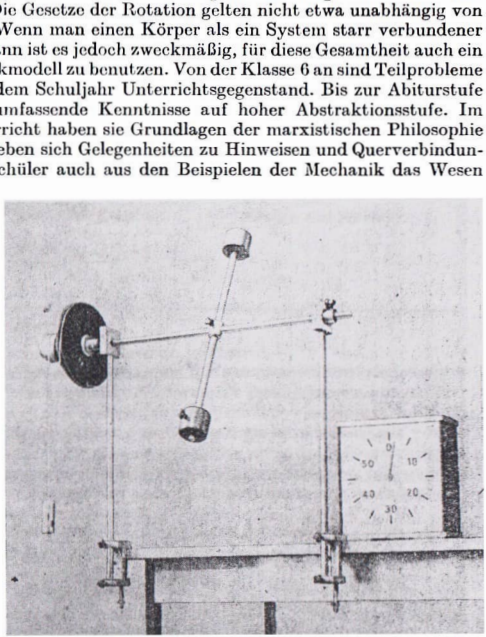


Bild 11/1: Aufbau-Apparatur zur experimentellen Untersuchung der Gesetze der Rotation im Zusammenhang mit der Translation

eines Gesetzes. Der Weg der physikalischen Erkenntnisfindung wird ihnen als Beispiel der marxistisch-leninistischen Erkenntnistheorie deutlich, und sie erkennen die Bedeutung von Modellen im Erkenntnisprozeß.

Als Unterrichtsmittel ist in den Schulen der weiterentwickelte Reifenapparat vorhanden. Daneben wird im Lehrbuch, im Experimentierheft und auch in diesen Unterrichtshilfen eine Aufbau-Apparatur (Bild 11/1) aus dem Präzisionsstativmaterial vorgeschlagen, die den Einsatz des vom Lehrplan vorgeschriebenen hantelförmigen Körpers gestattet. Die horizontale Achslagerung macht ein sorgfältiges Ausrichten der Lager und gutes Auswuchten der Hantel erforderlich. Durch die Kugellagerung und das relativ große Trägheitsmoment sowie den einfachen Antrieb ohne Umlenkrolle wirkt sich die Reibung auf den Bewegungsablauf kaum merklich aus. Die Apparatur kann während des gesamten Stoffgebietes sowohl zu Demonstrations- wie zu Schülerexperimenten benutzt werden. Der Antrieb erfolgt bei gleichförmigen Bewegungen mit dem Experimentiermotor, bei beschleunigten Bewegungen mit ablaufenden Hakenkörpern.

Meßbar sind:
Bahngeschwindigkeiten am Antriebsseil
  durch Messung von Weg und Zeit an einer Marke
  oder mit dem Tachometer;
Winkelgeschwindigkeiten an dem rotierenden Teil
  durch Zählen der Umläufe,
  mit dem Tachometer,
  mit dem Digitalzähler,
  mit Lichtblitzstroboskop,
  oder durch Rechnen mit der Gleichung $v = \omega \cdot r$.

Diese Apparatur wird wegen mehrerer methodischer Vorteile vorgeschlagen:

1. Antriebsseite (Drehmoment $M_D = F \cdot r$) und angetriebene Seite (Trägheitsmoment $J = R^2 \cdot m$) sind sehr klar räumlich getrennt.

2. Die Beschleunigungszeiten sind kurz, doch noch gut meßbar. Meßreihen sind dadurch in merklich kürzerer Zeit aufnehmbar als beispielsweise mit dem neuen Reifenapparat.

3. An einem fahrbaren Ansatztisch angeschraubt, ist die Apparatur transportierbar und auch nach dem Transport ohne jede erneute Justierung einsatzbereit. Sie kann also vorher aufgebaut und auch über längere Zeit im Vorbereitungsraum verwahrt bleiben. Auch das unterscheidet sie vom Reifenapparat. Einige Vorsicht erfordern die großen umlaufenden Massen im Schülerexperiment. Deshalb wird empfohlen, Gruppen zu etwa 6 Schülern an einer Apparatur experimentieren zu lassen. Einer führt die Hantierungen aus, die anderen messen durch Handstoppung die Zeiten. Dadurch erhält man bei einem Ablauf 5 Meßwerte; eine Wiederholung der Messung dürfte sich somit erübrigen. So kann man sehr zügig ausreichend viele Werte für eine Meßreihe aufnehmen.

In der Entwicklung befindet sich ein SEG-Translations-Rotations-Gerät, das für Schülerexperimente und Praktika vorgesehen ist. Abgesehen von der Stückliste, sind die im Lehrbuch angegebenen Experimentieranleitungen auch für die Schülerexperimente mit diesem Gerät geeignet.

Die Schülerexperimente zur Dynamik spielen eine bestimmende Rolle im Unterrichtsablauf. Alle Gesetze der Dynamik bis hin zur Rotationsenergie werden aus den Ergebnissen dieser Experimente erarbeitet. Die Schüler setzen sich selbständig

mit den Meßergebnissen auseinander und erleben in dieser Tätigkeit sehr deutlich, wie physikalische Kenntnisse aus Experimenten erarbeitet werden.
Die Gesetze der Kinematik werden auf deduktivem Wege gefunden, in der Dynamik wird weitgehend induktiv vorgegangen. Diese unterschiedlichen Denk- und Arbeitsweisen sollte der Lehrer den Schülern bewußt machen.
Angesichts der Vielfalt der Schlußfolgerungen, die aus den Experimenten gewonnen werden, erhalten die Schüler auch die Einsicht, wie notwendig beim Experimentieren ein gewissenhaftes Arbeiten ist.
Beispiele zum Stoff aus Wissenschaft und Technik sind im Lehrbuch sowohl in den einleitenden Betrachtungen als auch im Aufgabenteil aufgeführt. Die Schüler haben aus dem Unterricht in der Produktiven Arbeit sowie aus der wissenschaftlich-praktischen Arbeit in den sozialistischen Betrieben des Maschinenbaus, der Textilindustrie, der Landwirtschaft usw. vielfältige Erfahrungen. Der Lehrer muß die speziellen Gegebenheiten seiner Heimatstadt und seines Heimatkreises kennen und studieren, um im Unterricht bei der Behandlung der Translation und der Rotation an diese Erfahrungen der Schüler anknüpfen zu können.

Stoffeinheit Kinematik von Translation und Rotation 9 Stunden

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel. Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Translation und Rotation** Massepunkt und starrer Körper, Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Drehwinkel, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung, Umlaufzeit, Drehzahl	Begriffe Bewegung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Massepunkt (Ph 9), Bogenmaß (Ma 10)	Experimentelle Veranschaulichung von Translation und Rotation Messung von v und ω mit Tachometer LB S. 8 bis 12
2. **Zeitliche Änderung physikalischer Größen** Durchschnitts- und Augenblicksgeschwindigkeit, Verallgemeinerung: Beschleunigung, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung	Messen der Augenblicksgeschwindigkeit (Ph 9), Augenblicksgeschwindigkeit bei geradlinigen Bewegungen (Ma 11)	Diagramme und Folien Polylux LB S. 12 bis 15 LB Ma 11 S. 127 und S. 134 bis 137
3. **Gleichförmige Bewegung** Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz und Weg-Zeit-Gesetz, Bahn- und Winkelgeschwindigkeit	Klassifizieren der Bewegungsarten, Experimente zur Kinematik (Ph 9)	Folien und Polylux LB S. 16 bis 17 DE: experimentelle Bestätigung zu $v = \omega \cdot r$ (LB S. 10)
4. **Gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung** Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz und Weg-Zeit-Gesetz	Experimente zur Kinematik, Bewegungsgesetze (Ph 9)	Folien und Polylux LB S. 17 bis 18

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
5. Übungen Lösen von Anwendungsaufgaben, Interpretation des Weg-Zeit-Gesetzes		Folien und Polylux LB Aufgabenteil
6. Ort-Zeit-Gesetze Unterscheiden von Weg und Ort Bewegungskoordinaten Formulieren der Gesetze Übung	Grundbegriffe der Vektorrechnung (Ma 11)	Raummodelle aus Holzstäbchen und Plastilin, Vektorgerät Klapptafel, Satz ausziehbare Pfeile Folien zur Vektorrechnung (zur Auswahl!) LB S. 18 bis 20
7. Übungen Mathematisch-physikalische Aufgaben Ablesen und Zeichnen von Diagrammen		Arbeitsblätter Folien und Polylux Rechenstab
8. Bewegungsgesetze der Rotation Formulieren der Gesetze in Analogie zur Translation Experimentelle Bestätigung Arbeit mit Diagrammen		Folien und Polylux DE: Messung von v und ω (Riementrieb, Aufbau-Apparatur, Reifenapparat) Schülervorträge zur 9. Stunde LB S. 22 bis 24
9. Systematisierung und Leistungskontrolle Systematische Zusammenfassung Leistungskontrolle		Folien und Polylux

1. Stunde: Translation und Rotation

Stundenziele

Die Schüler

- wiederholen grundlegende Begriffe und Größen: Bewegung, Denkmodell Massepunkt, Geschwindigkeit, Beschleunigung;
- unterscheiden die Bewegungsformen Translation und Rotation;
- analysieren Beispiele der Translation und Rotation aus der Praxis;
- kennen die Denkmodelle Massepunkt und starrer Körper und grenzen die Bereiche ihrer Anwendbarkeit ab;
- erkennen die Zweckmäßigkeit, Translation mit den Bahngrößen s, v und a, Rotation dagegen mit den Winkelgrößen σ, ω und α zu beschreiben.

Unterrichtsmittel

FO zu den LBA 9/1, 10/1 und 10/3, Polylux
Apparatur nach Bild 11/1 mit Experimentiermotor und Antriebsriemen oder Funktionsmodell eines Bandförderers aus Stativmaterial.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Einführung zum Schuljahr **10 min**	LV
(2) Bewegungen Begriffe Translation und Rotation (E) **10 min**	LDE: Freihandversuche Herausarbeiten des Wesens von Translation und Rotation (UG, TBa)
Mechanische Bewegung ist die Änderung der Lage eines Körpers gegenüber anderen Körpern. Translation und Rotation sind die Grundformen der Bewegung.	
(3) Denkmodelle Massepunkt und starrer Körper (W, E) **10 min**	Wiederholung zum Denkmodell Massepunkt und der Grenzen seiner Anwendbarkeit bei Rotation, Definieren des Modells starrer Körper (LV, UG)
Das Modell Massepunkt erlaubt eine einfache Beschreibung der Translation. Das Modell starrer Körper ermöglicht eine einfache Beschreibung der Rotation.	
(4) Größen zur Beschreibung der Bewegung Winkelmessung im Bogenmaß HA: Wiederholen der Erarbeitung des Begriffs Augenblicksgeschwindigkeit **15 min**	Arbeit an FO nach LBA 9/1 und 10/1 Definieren der Größen v und a wie im Physikunterricht der Klasse 9 (UG, TBb) DE: Bewegung von Seilantrieb und Rolle (TBc) LB Ma 11 S. 127ff.

Größen zur Beschreibung der Bewegung:

	Translation	Rotation
Lageänderung	Weg s	Drehwinkel σ
Bewegungszustand	Geschwindigkeit v	Winkelgeschwindigkeit ω
Zustandsänderung	Beschleunigung a	Winkelbeschleunigung α

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Ausgangspunkt ist die Wiederholung des Begriffs Bewegung nach LB 9 S. 6. Mit einfachen Freihanddemonstrationen an verschiedenen Körpern werden Translation und Rotation als Grundformen der Bewegung verdeutlicht (vgl. dazu (3)). Die LBA 9/1 zeigt den Zusammenhang beider Bewegungsformen. Die Schüler suchen und analysieren Beispiele reiner Translation, reiner Rotation sowie zusammengesetzter Bewegungen aus dem Verkehrswesen, der Produktion, der Militärtechnik, der Bewegungen im Kosmos.

Dabei wird deutlich, daß bereits die Bildung dieser Begriffe eine gedankliche Vereinfachung der Vielgestaltigkeit des Naturgeschehens darstellt.

(3) Translation: Alle Punkte des Körpers bewegen sich auf parallelen, gleich langen Strecken. Abstrahiert man von allen anderen Eigenschaften des Körpers mit Ausnahme der Trägheit, dann kommt man zum Denkmodell Massepunkt.

Rotation: Alle Punkte des Körpers bewegen sich auf Kreisbahnen. Deren Mittelpunkte liegen auf der Drehachse, die Radien sind unterschiedlich. Nur in dem Sonderfalle, wenn seine Abmessungen klein gegenüber dem Radius sind (Kreisbewegung), ist es näherungsweise möglich, den Körper als Massepunkt zu modellieren. In allen anderen Fällen muß man den Körper als eine Gesamtheit auffassen, die ohne Formänderung (im UG diskutieren, ob immer erfüllt) ihre Orientierung im Raume ändert. So kommt man zum Denkmodell starrer Körper.

Aus der Erfahrung ist bekannt, daß die Trägheit eines Körpers nicht allein durch die Masse, sondern vielmehr durch die Masseverteilung bestimmt ist.

(4) Zur Einführung der Größen werden die Bewegung der Kiste auf dem Transportband und die Bewegung der Umlenkrolle des Bandes betrachtet. Aus den LBA, die man zweckmäßig durch die Demonstration mit einem Funktionsmodell ergänzt, läßt sich die Analogie von Weg und Winkel als Größen zur Beschreibung der Lageänderung sofort erkennen. Vorläufig eingeschränkt auf gleichförmige Bewegungen, wird die Winkelgeschwindigkeit $\omega = \sigma/t$ analog der Bahngeschwindigkeit $v = s/t$ definiert, ebenso vorläufig eingeschränkt auf gleichmäßig beschleunigte Bewegungen aus der Ruhe heraus die Winkelbeschleunigung $\alpha = \omega/t$ analog der Bahnbeschleunigung $a = v/t$. Die Problematik der Momentanwerte bei ungleichmäßigen Änderungen wird hier noch umgangen. Der Lehrer muß das Unterrichtsgespräch so lenken, daß die Schüler den Zusammenhang von Translation und Rotation und damit die Analogie der Größen Weg und Drehwinkel selbst erfassen. Damit erst wird die Bildung der Begriffe Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung in Analogie zu den Bahngrößen einleuchtend motiviert.

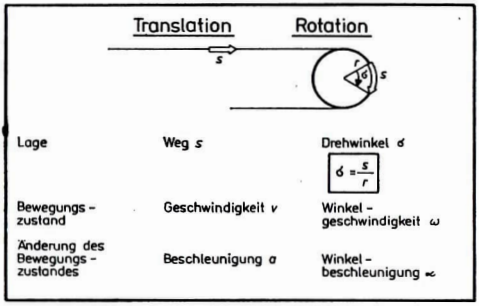
Das Bogenmaß als eine Möglichkeit zur Winkelmessung ist aus dem Mathematikunterricht der Klasse 10 bekannt, wenn auch wegen nur seltener Anwendung wenig geläufig. Ratsam ist, die LBA 10/1 auf Folie zu zeichnen und am Projektionsbild zu erläutern. Zur Vorbereitung der 2. Stunde erhalten die Schüler die Hausaufgabe, die im Mathematikunterricht der Klasse 11 erarbeitete exakte Definition des Augenblickswertes der Geschwindigkeit zu wiederholen und zu erläutern. Als Literatur ist dazu das LB Ma Kl. 11 auf den Seiten 127, 130 bis 131 und vor allem die Seiten 134 bis 137 zu benutzen.

Der Lehrplan der Klasse 12 fordert an keiner Stelle ein Eingehen auf den Vektorcharakter der Größen Weg, Geschwindigkeit usw..

Im Zusammenhang mit den Ort-Zeit-Gesetzen wird später deutlich, daß im Unterricht die Symbole s, v, a eigentlich im Sinne der Koordinaten von Weg, Geschwin-

digkeit, Beschleunigung in Richtung der Bewegung verwendet werden. Teilweise wurde auch in der Klasse 9 schon so vorgegangen.
In den Tafelbildern sind Pfeile gezeichnet. Diese haben nicht den Sinn einer Vektordarstellung. Sie sind lediglich als eine grafische Veranschaulichung der Bewegung zu verstehen. So deutet der gekrümmte Wegpfeil an, daß ein Punkt des Körpers ein Kreisbogenstück durchläuft.

Tafelbild



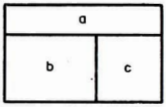


Bild 18/1

2. Stunde: Zeitliche Änderung physikalischer Größen

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß ein Differenzenquotient $\Delta s/\Delta t$ die Durchschnittsgeschwindigkeit, ein Differentialquotient ds/dt die Augenblicksgeschwindigkeit angibt;
- erkennen durch Verallgemeinerung, daß ein Differenzenquotient nach der Zeit die durchschnittliche, ein Differentialquotient die momentane Änderung einer physikalischen Größe charakterisiert;
- wenden diese Erkenntnisse auf die allgemeine Definition der Beschleunigung, der Winkelgeschwindigkeit und der Winkelbeschleunigung an.

Unterrichtsmittel

FO: LBA Ma 11 C16; C17, C2
FO: Weg-Zeit-Diagramm, Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm, dazu auflegbare Geraden, auflegbare Kurven, Steigungsdreiecke, Klarfolie, Faserstifte

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Geschwindigkeit bei gleichförmiger Bewegung, Durchschnitts- und Augenblicksgeschwindigkeit bei ungleichförmiger Bewegung (W, Fst) **20 min**	Wiederholen, Vertiefen und Festigen der Geschwindigkeitsdefinition (SV oder UG, TB) Ableseübung an s-t-Diagrammen
Die Durchschnittsgeschwindigkeit ist durch den Differenzenquotienten, die Augenblicksgeschwindigkeit durch den Differentialquotienten des Weges nach der Zeit gegeben.	
(2) Allgemeine physikalische Bedeutung von Differenzen- und Differentialquotienten nach der Zeit. Definition von a, ω und α **20 min**	Die mathematischen Betrachtungen zur Geschwindigkeit werden verallgemeinert, zur Veranschaulichung wird ein v-t-Diagramm benutzt (LV und UG, TB)
Ein Differenzenquotient $\frac{G_2 - G_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta G}{\Delta t}$ charakterisiert die durchschnittliche zeitliche Änderung der Größe G im Zeitintervall Δt. Ein Differentialquotient $\mathrm{d}G/\mathrm{d}t$ beschreibt die momentane zeitliche Änderung, die Änderungsgeschwindigkeit. Definition der Beschleunigung a, der Winkelgeschwindigkeit ω und der Winkelbeschleunigung α nach LB S. 14/15.	
(3) Klassifizieren der Bewegungsarten **5 min**	HA: Wiederholen LB 9 S. 39 und 66

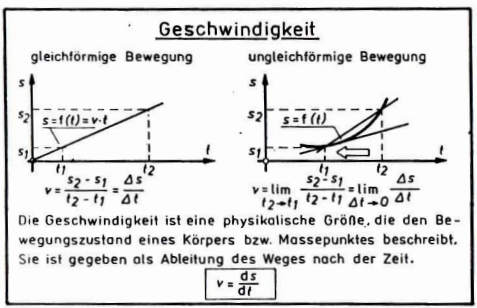
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Falls der Physiklehrer selbst die Klasse im Mathematikunterricht der Klasse 11 geführt hat, wird er die Wiederholung vom Schüler fordern. Im anderen Falle dient die Hausaufgabe der Bereitstellung des Wissens, das unter straffer Führung des Lehrers im Unterrichtsgespräch zusammengefaßt wird. Empfehlenswert ist es in jedem Falle, die LBA C16 und C17 aus dem LB Ma 11 auf Folie zu zeichnen und zu projizieren, vielleicht auch die LBA C2. Dazu werden einige Folien mit Weg-Zeit-Diagrammen projiziert. Aus der ersten wird für eine gleichförmige Bewegung aus dem Geradenanstieg die Geschwindigkeit bestimmt. Sodann wird für ungleichförmige Bewegungen für vorgegebene Zeitintervalle aus dem Sekantenanstieg die Durchschnittsgeschwindigkeit, für vorgegebene Zeitpunkte aus dem Tangentenanstieg die Augenblicksgeschwindigkeit abgelesen. Auch der Grenzübergang $\Delta t \to 0$ läßt sich im Projektionsbild durch Verdrehen der aufgelegten Gerade zeigen; denn Sekanten und Tangenten werden durch aufgelegte Foliestreifen dargestellt. Für diese Übungen gibt der Lehrer möglichst ganzzahlig ablesbare Werte vor. Durch den Raster des Diagramms spart man sich das Einzeichnen von Steigungsdreiecken, und der Zeitaufwand wird sehr gering. Solche Ablesungen sollen die theoretisch-

abstrakte Definition konkret vorstellbar machen, damit sie nicht etwa nur formales Buchstabenwissen bleibt. Deshalb sollen die Schüler auch stets den im Diagramm dargestellten Bewegungsablauf in Worten beschreiben. Solche Ableseübungen werden auch in den kommenden Stunden fortgesetzt, z. B. als frontale Übung in den ersten Minuten einer Stunde. Dabei sind verschiedenartige Bewegungen, schneller und langsamer werdende, vorwärts und rückwärts verlaufende, jedoch vorwiegend gleichmäßig beschleunigte Bewegungen, d. h. Parabeln in unterschiedlichen Lagen im Koordinatensystem, in die Betrachtung einzubeziehen.

(2) Die zur Definition der Augenblicksgeschwindigkeit auf die Ortsveränderung angewandte Denkweise wird jetzt auf die zeitliche Änderung beliebiger physikalischer Größen übertragen. Durch Andeuten von Beispielen wird die allgemeine physikalische Erkenntnis, daß Differenzen- und Differentialquotienten nach der Zeit eine Aussage über den durchschnittlichen bzw. augenblicklichen Grad der Zeitveränderlichkeit darstellen, belegt und vertieft: Reaktionsgeschwindigkeit chemischer Prozesse, Zerfallsgeschwindigkeit radioaktiver Nuklide (Kernphysik Kl. 10), Leistung $P = \Delta W/\Delta t$ als „Arbeitsgeschwindigkeit", elektrische Stromstärke $I = \Delta Q/\Delta t$ als Grad des Ladungstransports. Später wird bei der Behandlung des elektromagnetischen Feldes mit dem Induktionsgesetz $U = \mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}t$ bzw. $U = L \cdot \mathrm{d}I/\mathrm{d}t$ dieser Gedanke wieder aufgegriffen.
Durch Anwenden des erkannten Prinzips werden die Größen Beschleunigung, Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung definiert. Je nach Leistungsstärke der Klasse wird dabei das Lehrbuch zur Erarbeitung oder zum Zusammenfassen eingesetzt.

Tafelbild



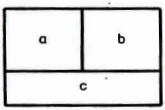
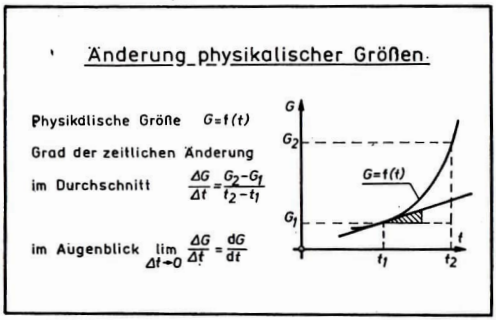


Bild 20/1



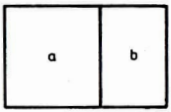
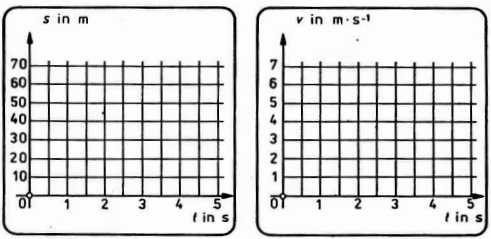


Bild 21/1

Folie

Bild 21/2



3. Stunde: Gleichförmige Bewegung

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen, daß die erarbeiteten Definitionen allgemeingültige physikalische Aussagen sind;
- leiten aus diesen die Bewegungsgesetze auf deduktivem Wege her;
- können sowohl die Bewegungsgesetze als auch deren grafische Darstellung zur Beschreibung gleichförmiger Bewegungen nutzen;
- kennen die Gleichung $v = \omega \cdot r$ und wenden sie in der Auswertung von Experimenten an.

Unterrichtsmittel

FO: Bilder aus der 2. Stunde mit auflegbaren Geraden
FO: LBA 9/1
Apparatur nach Bild 11/1 mit Antriebsriemen und Experimentiermotor oder Funktionsmodell eines Bandförderers, Drehzahlmesser, Stroboskop, Tachometer, Meßstab, Stoppuhr, Digitalmeßgerät.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Klassifizieren der Bewegungsarten, daraus Aufgabenstellung entwickeln (W) **5 min**	Hausaufgabe (K, UG)
(2) Die Bewegungsgesetze der gleichförmigen geradlinigen Bewegung (E) **15 min**	deduktives Herleiten der Gesetze aus den Definitionsgleichungen für a und v und dem Grundgesetz $F = m \cdot a$ (LV, SSA mit LB, TBa, b)
Bewegungsgesetze der gleichförmigen geradlinigen Bewegung nach LB S. 17.	
(3) Übung **5 min**	Arbeit an Projektionsfolien, Diskutieren verschiedener Varianten, Wortbeschreibung des Bewegungsablaufes (UG) HA: SV zur experimentellen Herleitung der Gesetze der gleichmäßig beschleunigten, geradlinigen Bewegung (W nach LB 9 und Aufzeichnungen aus dem Unterricht)
(4) Bahn- und Winkelgeschwindigkeit (E) **20 min**	DE, UG, Arbeit an FO Experimentelle Bestätigung des Gesetzes Berechnung von v und ω aus Meßwerten HA: SV zur experimentellen Herleitung der Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung
Bahngeschwindigkeit v und Winkelgeschwindigkeit ω sind durch die Gleichung $v = \omega \cdot r$ verknüpft. Bei gleichförmiger Rotation wird der Bewegungszustand oft durch die Drehzahl n oder auch durch die Umlaufzeit T angegeben, dabei gilt $T = \frac{1}{n}$ und $\omega = 2\pi \cdot n = \frac{2\pi}{T}$.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Durch Annahme verschiedener Fälle ($F = 0$, F = konstant $\neq 0$, F = variabel) in Wegrichtung wirkender Kräfte und Anwendung des Grundgesetzes $F = m \cdot a$ werden die Bewegungsarten unterschieden. Die in der 2. Stunde vorgenommene Verallgemeinerung der Größendefinitionen hat auch eine Verallgemeinerung der Bewegungsgesetze zur Folge; das ist die Aufgabenstellung der Stunde.

(2) Ausgehend von der Definition des Begriffs gleichförmige Bewegung ($F = 0$, vgl. Trägheitsgesetz), dem Grundgesetz $F = m \cdot a$ und den Definitionsgleichungen für a und v werden die Bewegungsgesetze hergeleitet. Diese Herleitung könnte auch zum Inhalt eines an Hand des Lehrbuchtextes vorbereiteten Schülervortrages gemacht werden. Dann muß aber der Lehrer sich rechtzeitig vorher mit dem betreffenden Schüler beraten, damit dieser im Vortrag die wesentlichen Gedanken richtig herausarbeitet.

(3) Als Übungsmaterial für die Beziehungen zwischen Gleichung und grafischer Darstellung der Weg-Zeit-Funktion sowie der Geschwindigkeit-Zeit-Funktion stehen im Lehrbuch mehrere Abbildungen und Aufgaben bereit.

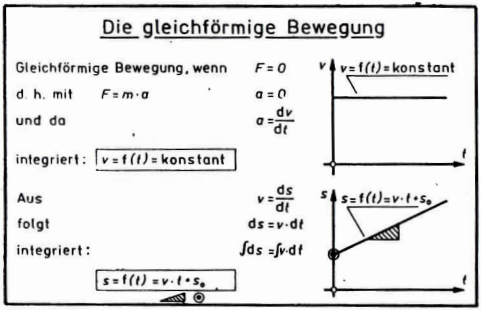
(4) Die Folie LBA 9/1 wird erneut projiziert. Bei gleichförmigen Bewegungen gilt $v = s/t$, $\omega = \sigma/t$ und $\sigma = s/r$. Daraus folgt sofort der Zusammenhang $v = \omega \cdot r$.
Das gleiche Ergebnis kann man auch auf anderem Wege erhalten: Man geht aus von der Gleichung

$\sigma = \frac{s}{r}$, stellt sie nach s um:

$s = \sigma \cdot r$, Differentiation nach t liefert
$v = \omega \cdot r$, erneute Differentiation
$a = \alpha \cdot r$, diese zweite Herleitung ist

allgemeingültiger als die erste und ist zugleich ein überzeugendes Argument für die Zweckmäßigkeit der Größendefinition als Ableitungen.
Den Zusammenhang $T = 1/n$ erkennen die Schüler leicht an einigen einfachen Zahlenbeispielen im UG.
Die Gleichung $\omega = 2\pi/T$ folgt dann aus der Anwendung der Gleichung $\omega = \sigma/t$ auf den Vollwinkel.
Diese Formeln sind in wenigen Minuten hergeleitet. Jetzt bietet sich die Gelegenheit, Winkelgeschwindigkeit ω bzw. Drehzahl n oder Umlaufzeit T im DE an der Umlenkrolle eines Seiltriebes oder Bandförderers zu messen. Gleichzeitig wird am Band eine Marke angebracht und deren Geschwindigkeit v bestimmt. So wird die Richtigkeit der Gleichung $v = \omega \cdot r$ experimentell überprüft. Damit wird zugleich auch die im ersten Teil der Stunde behandelte gleichförmige geradlinige Bewegung demonstriert und experimentell untersucht.
Zur Messung der Winkelgeschwindigkeit dient ein Tachometer, bei gleichförmiger Bewegung auch eine digitale Meßeinrichtung. Die Bahngeschwindigkeit wird mit dem Demonstrationstachometer gemessen oder aus Weg und Zeit berechnet. Als Antrieb dient der Experimentiermotor.
Zu zeigen sind dabei sowohl die Proportionalitäten $v \sim \omega$ als auch $v \sim r$.

Tafelbild



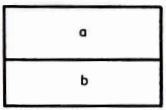


Bild 24/1

4. Stunde: Gleichmäßig beschleunigte geradlinige Bewegung

Stundenziele

Die Schüler

- lernen die allgemeinen Bewegungsgesetze dieser Bewegungsart kennen;
- vertiefen die in der vorausgegangenen Stunde erarbeitete Methode, solche Bewegungsgesetze deduktiv herzuleiten;
- festigen ihr Wissen über die Zusammenhänge von Bewegungsablauf, Bewegungsgesetzen und Bewegungsdiagrammen.

Unterrichtsmittel

FO: mit s-t-Diagrammen und v-t-Diagrammen, Foliestücke mit verschiedenen Kurven (Parabeln) und Geraden, Klarfolie, Faserstifte, Polylux

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung (HA, K, W) **10 min**	Bericht über die in der Klasse 9 durchgeführte experimentelle Herleitung der Gesetze (SV)
Meßreihen ergaben: $s \sim t^2$ und $v \sim t$, daraus wurden die Bewegungsgesetze für die Sonderfälle mit $v_0 = 0$ und $s_0 = 0$ formuliert.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Bewegungsgesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung (E) **20 min**	Deduktives Herleiten der Gesetze aus den Definitionsgleichungen für a und v und dem Newtonschen Grundgesetz (LV, UG, TBa, b)
Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz $v = f(t) = a \cdot t + v_0$ Weg-Zeit-Gesetz $s = f(t) = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$	
(3) Übung und Anwendung (Fst) **15 min**	Arbeit an Projektionsfolien (UG, TBb, Heft), grafisches Darstellen der gefundenen Beziehungen. Diskutieren der physikalischen Bedeutung der Parameter s_0, v_0 und a und ihrer Auswirkungen auf den Verlauf des Graphen. Wortbeschreibung des Bewegungsablaufes.

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Der Ablauf ist ganz ähnlich wie im Teil (2) der 3. Stunde. Da die Herleitungen mathematisch aufwendiger sind, werden sie im Lehrervortrag gegeben.

(3) Übungsmaterial enthält das Lehrbuch. Die Beziehungen zwischen Bewegungsgesetz und Bewegungsdiagramm werden in gemeinsamer Arbeit an Projektionsfolien aufgezeigt. Ableseübungen lassen sich sehr rationell am Projektionsbild ausführen.

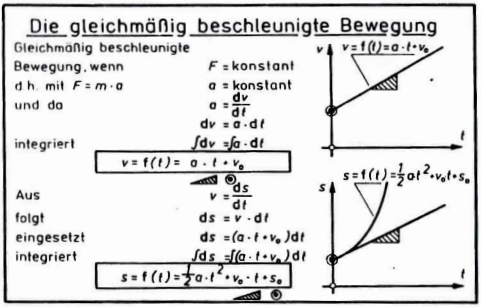
Aus dem Mathematikunterricht wissen die Schüler

— eine Ableitung bedeutet geometrisch einen Tangentenanstieg,
— ein Integral bedeutet geometrisch einen Flächeninhalt.

Aus dem Physikunterricht ist ihnen bekannt
—. Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit gibt die Beschleunigung,
— Ableitung des Weges nach der Zeit gibt die Augenblicksgeschwindigkeit,
— zeitliche Integration über die Geschwindigkeit gibt den Weg.

Die Ableseübungen sollen diese Zusammenhänge deutlich und damit die Gesetze und Definitionen verständlich machen. Durch Anstiegsbestimmung (grafisches Differenzieren) liest man Augenblickswerte von v bzw. a ab. Flächenbestimmung im v-t-Diagramm ermöglicht die Ablesung des Weges (grafisches Integrieren). Die Ablesungen werden stets mit Wortbeschreibungen des Bewegungsablaufes verknüpft. Der Lehrer wird auch leicht ablesbare Werte auswählen, da es nicht um die Entwicklung von Fertigkeiten, sondern um die Vertiefung des Verständnisses geht.
Die verbale Beschreibung des im Funktionsbild dargestellten Bewegungsablaufes schlägt dabei die Brücke von der wissenschaftlichen Abstraktion zur Praxis.

Tafelbild



a
b

Bild 26/1

5. Stunde: Übungen

Stundenziele

Die Schüler

- wenden die Gesetze der gleichförmigen und der gleichmäßig beschleunigten Bewegung an;
- lösen Aufgaben zu den Bewegungsgesetzen;
- interpretieren die Bewegungsgleichungen.

Unterrichtsmittel

Polylux, FO mit Bewegungsdiagrammen

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Übung **5 min**	Auswerten von Diagrammen wie in den vergangenen Stunden, Wiederholen der Bewegungsgesetze und der Definitionen (UG, auch LK möglich)
(2) Lösen von Anwendungsaufgaben **25 min**	Aufgabensammlung des LB (SSA, UG, Arbeit an der Tafel)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Interpretation des Weg-Zeit-Gesetzes 15 min	(UG, LB S. 17)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Aus den zahlreichen Aufgaben des Lehrbuches wählt der Lehrer einige zur Übung aus. Beim Suchen des Lösungsweges werden die Schüler darauf orientiert

1. die Bewegungsart anzugeben,
2. die im Aufgabentext gegebenen Bedingungen (s_0, v_0 bzw. v, a) zu nennen.

Danach richtet sich die Wahl der Lösungsformel(n).

(3) Am Anfang oder am Ende dieser Stunde werden die Terme der Gleichung (30) des LB interpretiert. Im LB S. 18 ist die Gleichung (30) aus der Zusammensetzung der Bewegungen hergeleitet. Eine Skizze macht die physikalische Bedeutung der drei Summanden deutlicher.
Recht anschaulich verständlich werden sie an einem konkreten Beispiel, in dem tatsächlich von einer Wegstelle aus eine gleichförmige und eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung gleichzeitig stattfinden (Bild 27/1): Ein Kampfhubschrauber unserer NVA fliegt gleichförmig mit der Geschwindigkeit v_0. Zu einem bestimmten Zeitpunkt $t_0 = 0$ ist er an der Stelle s_0 und schießt eine Rakete ab. Diese bewegt sich mit a gleichmäßig beschleunigt in Flugrichtung des Hubschraubers. Nach einer gewissen Zeit t hat die Rakete die Wegstelle $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$ erreicht. Betrachtet man die Zeit t als variabel, ist die Gleichung das Weg-Zeit-Gesetz dieser Bewegung.
Auch die anderen Bewegungsgesetze können in ähnlicher Weise interpretiert werden.

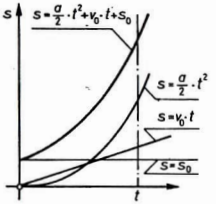


Bild 27/1

6. Stunde: Ort-Zeit-Gesetze

Stundenziele

Die Schüler

- festigen ihre Kenntnisse über grundlegende Begriffe und Gesetze der Translation;
- erkennen die Notwendigkeit, zwischen Weg und Ort zu unterscheiden;
- formulieren die Ort-Zeit-Gesetze der gleichförmigen und der gleichmäßig beschleunigten geradlinigen Bewegung für verschiedene Koordinatenrichtungen und wenden sie an.

Unterrichtsmittel

Aus Holzstäbchen und Plastilin hergestellte einfache Raummodelle.
Vektorgerät: SKUS 06 650189.
FO: Koordinatensystem 06 752356, Vektoren im Raum 06 752256
Klapptafel, Satz ausziehbare Pfeile.

Stundenverlauf

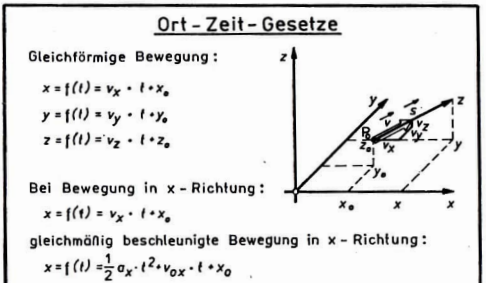
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Bewegungsgesetze (W, K) **15 min**	Wiederholen des Begriffes Bewegung, Klassifizierung der Bewegungsarten, Weg-Zeit-Gesetze und Geschwindigkeit-Zeit-Gesetze der gleichförmigen und der gleichmäßig beschleunigten Bewegung, Bewegungsdiagramme (UG)
(2) Koordinatendarstellung Ortskoordinaten x; y; z Geschwindigkeitskoordinate v_x Beschleunigungskoordinate a_x (E) **15 min**	Arbeit an Anschauungsmitteln: Unterscheiden von Weg und Ort, damit Motivieren der Notwendigkeit der Koordinatendarstellung (UG, SSA: LB S. 19/20, TBa) Vereinfachen auf Bewegungen in x-Richtung, Formulieren des Ort-Zeit-Gesetzes, Diskutieren der physikalischen Bedeutung der Parameter x_0, v_{0x} und a_x (TBb, c)
Ort-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung $x = f(t) = \frac{1}{2} a_x \cdot t^2 + v_{0x} \cdot t + x_0$	
(3) Übung und Anwendung (Fst) **15 min**	Gemeinsames Lösen einer der Aufgaben aus dem Lehrbuch HA: Erarbeiten eines SV zu je einem der 4 Anwendungsbeispiele (LB S. 21)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Ausgehend vom Bewegungsbegriff — Lageänderung eines Körpers — wird erarbeitet, daß oft nicht der zurückgelegte Weg entscheidend ist, um die Bewegung

eines Körpers zu charakterisieren, sondern sein momentaner Aufenthaltsort und der dortige Bewegungszustand sowie deren Änderung im Laufe der Zeit. Beispiele aus Militärwesen, Raumfahrt, Astronomie konkretisieren diese Überlegung.
Aus dem Beispiel zum senkrechten Wurf im LB S. 20 wird der Unterschied zwischen zurückgelegtem Weg und Ort deutlich, und die Schüler sehen die Zweckmäßigkeit der Ort-Zeit-Gesetze ein.
Sowohl im Zusammenhang mit den Größendefinitionen als auch mit den Bewegungsgleichungen wird auf den Vektorcharakter der Größen nicht eingegangen.
Weil sich der Unterrichtsstoff auf die Behandlung einer geradlinigen Bewegung beschränkt, ist es möglich, die x-Achse des gewählten Koordinatensystems in die Bewegungsrichtung zu legen. Diese Überlegung führt die Schüler auf die im Lehrbuch angegebene Form der Bewegungsgesetze.
Positive oder negative Vorzeichen vor den Symbolen s_0, v bzw. v_0 und a werden so als Angaben der Richtung verständlich (Vektorkoordinaten).

Tafelbild



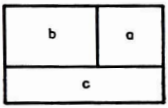


Bild 29/1

7. Stunde: Übungen

Stundenziele

Die Schüler

- festigen und vertiefen ihre Kenntnisse auf dem Gebiet der Kinematik der Translation;
- sie vervollkommnen ihre Fähigkeit, mathematisch-physikalische Aufgaben zu lösen;
- gewinnen Sicherheit im Ablesen aus grafischen Darstellungen und im Zeichnen einfacher Darstellungen zur Kinematik.

Stundenverlauf

Es ist der Entscheidung des Lehrers anheimgestellt, vor dieser Stunde das Thema „Bewegungsgesetze der Rotation" zu behandeln und dann zwei Stunden im Zusammenhang zu üben.
Je nach Klassensituation wird der Lehrer Aufgaben unterschiedlichen Charakters und unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades auswählen. Der Aufgabenteil des Lehrbuches stellt ausreichend Übungsmaterial bereit (Aufgaben 1 bis 15, besonders sind zu empfehlen Nr. 2, 5, 13).
An Projektionsfolien wird weiterhin das Ablesen aus grafischen Darstellungen geübt.
Arbeitsblätter können sowohl zum Üben des Zeichnens als auch des Ablesens eingesetzt werden.
Hier oder auch in der 9. Stunde kann ein Arbeitsblatt zu einer Leistungskontrolle von etwa 15 min Dauer genutzt werden.

8. Stunde: Bewegungsgesetze der Rotation

Stundenziele

Die Schüler

- wiederholen die Definitionen der physikalischen Größen zur Beschreibung von Translation und Rotation;
- schließen aus der Analogie der Definitionen der Größen bei Translation und Rotation auf analog formulierte Bewegungsgesetze;
- erkennen aus einfachen experimentellen Untersuchungen die Richtigkeit dieses Analogieschlusses.

Unterrichtsmittel

FO: v-t-Diagramm/Schema mit Auflagestreifen
σ-t-Diagramm/Schema mit Auflagestreifen
Apparatur nach LBA 14/3 oder
Aufbau-Apparatur nach Bild 11/1 oder
Reifenapparat mit Zubehör,
dazu zur Geschwindigkeitsmessung Handstoppuhren, evtl. Lichtblitzstroboskop oder Stroboskopscheibe mit Digitalmeßgerät.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Definition der Größen zur Beschreibung des Bewegungsablaufes (W) **5 min**	Wiederholen und systematisches Zusammenstellen (UG, TBa) Arbeit mit LB S. 22 (SSA) Aufsuchen und Diskutieren weiterer Beispiele (SSA, SV, UG)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Alle Beispiele machen die engen Beziehungen zwischen Translation und Rotation deutlich. Deshalb sind die Größen zur Beschreibung von Lage, Bewegungszustand (d. i. Lageänderung) und Änderung des Bewegungszustandes gleichartig definiert.	
(2) Bewegungsgesetze (E) **10 min**	Formulieren der Bewegungsgesetze der Rotation in Analogie zu denen der Translation (UG, TBb)
Vermutung: Die Bewegungsgesetze der Rotation haben die gleiche mathematische Struktur wie die der Translation	
(3) Bestätigung (Exp) **15 min**	Im Experiment wird der Analogieschluß nach (2) als richtig bestätigt. gleichförmige Kreisbewegung: ω = konstant, falls v = konstant und $\sigma \sim t$, falls $s \sim t$. gleichmäßig beschleunigte Bewegung: $\sigma \sim t^2$, falls $s \sim t^2$ (LDE, TBc)
Die experimentelle Untersuchung zeigt die Richtigkeit der Vermutung.	
(4) Lösen von Aufgaben (Ü) Hausaufgabe **15 min**	Folien: σ-t-Diagramme und zur Wiederholung v-t-Diagramme Zeichnen einfacher Diagramme Lösen einer Aufgabe LB S. 147 (LV, SSA) Herleiten der Bewegungsgesetze der Rotation durch Integration der Definitionsgleichungen

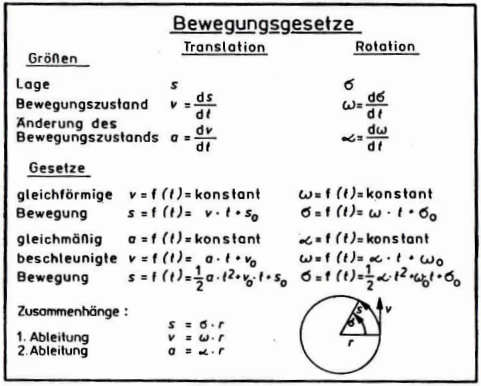
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) In Analogie zu den bekannten Bewegungsgesetzen der gleichförmigen und der gleichmäßig beschleunigten Translation werden die Gesetze der Rotation in mathematisch gleicher Struktur formuliert. Dieser Analogieschluß ist nicht zwingend und bedarf der experimentellen Bestätigung und letztlich auch der Einfügung in die Theorie. Die experimentelle Untersuchung schließt sich unmittelbar an, die theoretische Herletiung ist Hausaufgabe.

(3) Nach dem Prinzip des Riementriebes oder auch mit dem Reifenapparat (vgl. Bedienungsanleitung) sind die Bewegungsgesetze der gleichförmigen Rotation nachweisbar. Die Messung der Winkelgeschwindigkeit kann beim hantelförmigen Körper leicht durch ein Abzählen der Umdrehungen ersetzt werden. Auch stroboskopische Meßverfahren sind möglich.
Der Lehrer wird verschiedene experimentelle Möglichkeiten vorbereiten und verdeckt bereitstellen. Im UG werden die Schüler in die Planung einbezogen, die sich daraus ergebende Variante wird zur Messung eingesetzt.
Bei beschleunigten Bewegungen sind Messungen der Augenblicksgeschwindigkeit kompliziert. Halbquantitativ läßt sich zeigen, daß sich v und σ im gleichen Sinne ändern. Im Falle der Anfangsgeschwindigkeit 0 ist $\sigma \sim t^2$ sehr schnell nachzuweisen. Man gibt an mehrere Schüler Handstoppuhren aus, läßt die Apparatur einmal beschleunigt ablaufen und läßt die Schüler für verschiedene vorgegebene Umdrehungszahlen die Zeit messen.

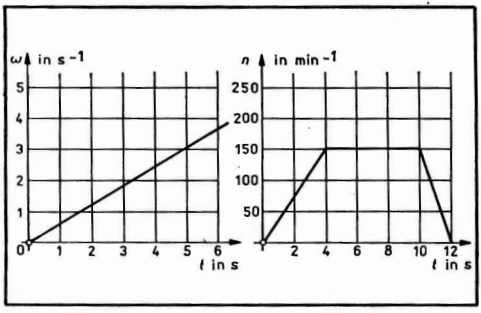
(4) Da die Schüler bisher nur mit den Einheiten von σ, ω und α bekannt gemacht wurden (z.B. $\mathrm{rad} \cdot \mathrm{s}^{-1} = \mathrm{s}^{-1}$), ist es notwendig, den Umgang mit diesen Einheiten beim Lösen von Aufgaben zu üben.

Tafelbild



a
b
c

Bild 32/1



a	b

Bild 32/2

9. Stunde: Systematisierung und Leistungskontrolle

Stundenziele

Die Schüler

- vertiefen ihren systematischen Überblick über Definitionen und Gesetze der Kinematik und entwickeln die Methodenkenntnis weiter;
- üben beim Lösen von Aufgaben die Anwendung des erworbenen Wissens.

Unterrichtsmittel

Folien, Übungsmaterial aus dem Lehrbuch

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) HA (K) Wiederholung und Systematisieren 15 min	Systematische Zusammenstellung der Größen und Bewegungsgesetze von Translation und Rotation (SV). Begründen, warum Definitionen analog gebildet werden können (SV). Berichten über den Weg, wie die Gesetze gefunden wurden (SV).
(2) Leistungskontrolle HA: Studium des Einführungsabschnittes LB S. 25 30 min	Lösen von Aufgaben

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Der systematisierende Vortrag wird von einem Schüler nach vorheriger Themenstellung und häuslicher Vorbereitung gehalten, er wird als mündliche Leistungskontrolle bewertet.

(2) Welche Art von Aufgaben zur Kontrolle ausgewählt werden, muß der Lehrer entsprechend dem Leistungsstand der Klasse entscheiden (Aufgaben 16 bis 26, besonders werden empfohlen Nr. 19, 23, 24).

Stoffeinheit Dynamik von Translation und Rotation — 9 Stunden

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Kraft und Drehmoment** Kraft und Beschleunigung bei Translation Drehmoment und Beschleunigung bei Rotation	Newtonsches Grundgesetz (Ph 9) Drehmoment (ESP 9) Hebelgesetz (Ph 7)	DE: beschleunigte Rotation mit Aufbau-Apparatur oder Reifenapparat Geräte für Schülerexperimente LB S. 25 bis 27

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
2. **Experimentelle Untersuchung zur Winkelbeschleunigung** Nachweis, daß $\alpha \sim M_D$ mit $M_D = F \cdot r$	Auswerten von Meß-reihen (Ph 9)	SE M 1: mit Aufbau-Apparatur oder SEG Translations-Rotations-Gerät Stoppuhren LB S. 27 bis 29
3. **Trägheitswirkungen bei Rotation** Planen und Durchführen einer experimentellen Untersuchung. Nachweis, daß $J = m \cdot r^2$ mit $J = M_D/\alpha$		SE M 2: mit den gleichen Hilfsmitteln wie SE M 1 LB S. 29 bis 31
4. **Trägheitsmoment** Abschluß der Auswertung des Schülerexperimentes M 2	Protokolle der SE	Reifenapparat mit Zubehör Stoppuhren LB S. 29 bis 33
5. **Übungen zum Trägheitsmoment** Übungen im Berechnen von Trägheitsmomenten Diskussion technischer Beispiele	Integralrechnung (Ma 11)	Kreisel, Drehscheibe nach Prandtl, Modelle Bilder technischer Einrichtungen PSV 1/2 S. 276ff. LB S. 32/33, 36
6. **Rotationsenergie** Analogieschluß von Translationsenergie auf Rotationsenergie Auswertung der Schüler-experimente Theoretische Herleitung	kinetische Energie, potentielle Energie, Energieerhaltungssatz (Ph 11)	Protokolle der SE M 1 und M 2 LB S. 34/35
7. und 8. **Anwendung, Festigung und Übung zur Kinematik und Dynamik** Weitere Experimente zur Rotation Lösen von Aufgaben Ablesen von Diagrammen Zeichnen von Diagrammen Diskussion technischer Beispiele		Reifenapparat mit Zubehör Stoppuhren Folien Arbeitsblätter Bilder und Modelle LB S. 36 bis 38
9. **Leistungskontrolle**		

1. Stunde: Kraft und Drehmoment

Stundenziele

Die Schüler

- vertiefen ihre Kenntnisse über Größen und Gesetze der Translation und der Rotation;
- üben sich im Entwerfen von Experimentieranordnungen;
- untersuchen und erkennen den Einfluß des Antriebsradius auf die Winkelbeschleunigung.

Unterrichtsmittel

Aufbau-Apparatur nach Bild 11/1 oder
Reifenapparat oder beides.
Geräteaufbau, wie er für die Schülerexperimente benutzt wird (vgl. 2. Stunde)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Problemstellung (W) **10 min**	Diskussion des Einführungsabschnittes LB S. 25 (UG) Geordnetes Zusammenstellen bekannter Definitionen und Gesetze an der Tafel Existiert auch in der Dynamik eine solche Analogie von Translation und Rotation? (UG)
Grundgesetz der Dynamik $F = m \cdot a$ $\quad ... = ... \cdot \alpha$ Bewegungsänderung a $\quad \alpha$ Wechselwirkungsgröße F $\quad ...$ Trägheitsgröße m $\quad ...$ 1. Teilproblem: Beschreibt die physikalische Größe Kraft **eindeutig** auch die zur Beschleunigung führende Wechselwirkung bei der Rotation?	
(2) Planung einer experimentellen Untersuchung (E) **10 min**	Überlegung: Wie muß die Kraft auf einen Körper wirken, um ihm eine Winkelbeschleunigung zu erteilen? Erarbeiten: F darf nicht durch die Drehachse verlaufen, d. h., F muß tangential angreifen (UG, TBa) Techn. Ausführung: Antriebsrolle mit Zugseil
Nur bei Angreifen außerhalb der Drehachse kann eine Kraft einem Körper eine Winkelbeschleunigung erteilen.	
(3) Halbquantitative experimentelle Untersuchung (E) **10 min**	Durchführung eines DE: 1. Messen der Ablaufzeit als Vergleichsmaß für die Winkelbeschleunigung 2. Verdoppeln der Kraft, Zeitmessung 3. Halbieren des Antriebsradius, Zeitmessung 4. Weitere ähnliche Messungen mit anderen Vielfachen von F und r

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Erkenntnis: Gleiche Winkelbeschleunigungen werden beobachtet, wenn F und r einander umgekehrt proportional sind, d. h. wenn $F \cdot r =$ konstant ist. Das Produkt $F \cdot r$ ist demzufolge ein Maß der Wechselwirkung.	
(4) Drehmoment (Z) **5 min**	Definieren des Begriffs Drehmoment (UG, TBb)
Das Drehmoment ist eine physikalische Größe, die die Beschleunigungsursache bei Drehbewegungen charakterisiert. Es gilt Drehmoment $M_D = F \cdot r$ mit $\vec{F} \perp \vec{r}$ in einer Ebene, die rechtwinklig zur Drehachse liegt.	
(5) Wiederholung (Fst) **5 min**	UG, nach Möglichkeit Arbeit mit Lehrbuch ESP 9 und Lehrbuch Ph 7: Drehmoment Hebelgesetz
Gleichgewicht ($\alpha = 0$) tritt auf im Falle entgegengesetzt wirkender Drehmomente von gleichen Beträgen.	
(6) Vorbereiten einer quantitativen experimentellen Untersuchung (HA) **5 min**	Vorbesprechung zum Schülerexperiment (inhaltlich, organisatorisch, Protokollvorbereitung als Hausaufgabe usw.)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die Problemfrage, ob die Gesetze der Dynamik der Rotation analog denen der Translation sind, geht aus von der Wiederholung des Grundgesetzes der Dynamik. Die Änderung des Bewegungszustandes wird bei der Translation mit a, bei der Rotation mit α beschrieben. Diese beiden Größen sind nicht identisch.
Die Problemstellung konkretisiert sich so in zwei Teile:
Teilfrage 1: Ist bei der Rotation die Wechselwirkung ebenso wie im Falle der Translation durch die Kraft F treffend beschrieben?
Teilfrage 2: Werden die durch den beschleunigten Körper selbst gegebenen **Bedingungen** (d. h. seine **Trägheit**), ebenso wie im Falle der Translation durch die Masse m treffend beschrieben? — Die Beantwortung dieser zweiten Frage wird vorerst zurückgestellt.

(2) Im Unterrichtsgespräch wird herausgearbeitet, wie die beschleunigende Kraft angreifen muß, um dem Körper eine Winkelbeschleunigung zu erteilen. Dabei sollte in Beispielen sowohl an gelagerte Körper (z.B. Maschinenteile) als auch an nicht gelagerte Körper (z.B. Drehung eines Schiffs im Hafenbecken durch Schlepper) gedacht werden. Dabei beschränkt sich die Betrachtung im Unterricht auf die Dynamik der Rotation homogener rotationssymmetrischer Körper mit körper- und raumfester Achse als Symmetrieachse. Das muß auch den Schülern gesagt werden und wirkt sich auf die Auswahl der Beispiele aus, die dann näher erläutert werden sollen.
Die Behandlung von Kräftepaaren und Lagerkräften ist im Lehrplan nicht vorgesehen. Sollten die Schüler im Unterrichtsgespräch selbst auf diese Problematik kommen, wird man kurz darauf eingehen.
Das Angreifen einer Kraft oder Kraftkomponente außerhalb der Achse und rechtwinklig zu ihr führt auf die Planung einer Anordnung, in der ein Zugseil auf eine

zylindrische Antriebstrommel wirkt. Erst dann wird man die vorher auf einem fahrbaren Ansatztisch aufgebaute Experimentieranordnung den Schülern zeigen.

(3) und (4) Als Grundlage der Definition des Drehmomentes macht sich eine experimentelle Untersuchung nötig. Möglich wäre es auch, hier bereits mit dem Schülerexperiment (2. Stunde) zu beginnen. Die Definition des Drehmomentes gewinnt man dann aus der Auswertung des Experimentes. Dieser Weg ist zu empfehlen, wenn der Stundenplan hier eine Doppelstunde vorsieht, wie das in manchen Schulen üblich ist. Bei Einzelstunden ist sicher die hier im Text dargestellte Variante besser, die Definition aus halbquantitativen Demonstrationsexperimenten zu begründen und den Zusammenhang dann in der folgenden Stunde gründlich experimentell zu untersuchen.

Tafelbild



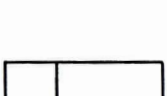


Bild 37/1

2. Stunde: Experimentelle Untersuchung zur Winkelbeschleunigung

Stundenziele

Die Schüler

- untersuchen experimentell die Zusammenhänge zwischen beschleunigender Kraft F und Winkelbeschleunigung α sowie zwischen Antriebsradius r und Winkelbeschleunigung α;
- üben experimentelle Grundfertigkeiten wie das Messen von Strecken und insbesondere das Messen von Zeiten mit der Handstoppuhr;
- festigen ihre Fertigkeiten im Aufnehmen und Auswerten von Meßreihen, insbesondere das Feststellen von Proportionalitäten;
- wenden die Gesetze der Kinematik an;
- erkennen, daß bei unverändert bleibenden Trägheitseigenschaften des beschleunigten Körpers die Winkelbeschleunigung α proportional dem Betrage der Antriebskraft F und dem Antriebsradius r und somit dem Produkt $F \cdot r$ ist.

Unterrichtsmittel

Schülerexperimente Physik 11/12 (Klassensatz)
Aufbau-Apparatur für Schülergruppen zu je 6 Schülern
dazu 5 Handstoppuhren je Gruppe

oder

SEG Translations-Rotations-Gerät mit Zubehör dazu 1 bis 2 Handstoppuhren je Gruppe	für Schülergruppen zu je 2 bis 3 Schülern

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Organisatorische Vorbereitung des SE M 1 **5 min**	Bereitstellen der Experimentierapparatur und erstes Hantieren und Vertrautmachen damit (Die Apparaturen wurden durch Fachhelfer vor der Stunde schon aufgebaut)
(2) Anleitung und Ausführung der Messungen **20 min**	Getrennt-gemeinschaftliche Arbeit Messen: $\alpha = f(F)$ Teilexperiment A $\alpha = f(r)$ Teilexperiment B (SSA)
(3) Austausch der Meßergebnisse, Auswertung und Formulieren des Gesamtergebnisses **20 min**	Vergleichen der Ergebnisse der Experimentiergruppen mit gleicher Aufgabenstellung, Austauschen der Ergebnisse der Gruppen mit unterschiedlicher Aufgabenstellung, Stillarbeit: grafische Darstellung und rechnerische Auswertung nach der Anleitung im Lehrbuch (SSA, LB S. 28)
Ergebnis: Die Winkelbeschleunigung α ist proportional dem Antriebsmoment $M_D = F \cdot r$	
(4) Hausaufgabe	Protokoll zu SE M 2 vorbereiten, Vorbetrachtungen dazu bearbeiten.

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Gesichtspunkte der Unterrichtsorganisation sowie der Ausstattung lassen für die Durchführung der Schülerexperimente zwei Varianten möglich erscheinen:

Variante 1

Verwendung der Aufbau-Apparatur nach Bild 11/1.
Jede Apparatur wird vor der Stunde auf einen fahrbaren Tisch montiert. Sie ist so transportfähig, kann also im Vorbereitungsraum bereitgestellt sein.
An dieser großen Apparatur können bis zu 6 Schüler arbeiten, man braucht also je Klasse 4 Apparaturen. Ein Schüler führt die Hantierungen aus, die anderen fünf können gleichzeitig die Ablaufzeiten mit der Handstoppuhr (Sportlehrer!)

messen. Es erübrigt sich dann ein Wiederholen des Ablaufes, und die Ergebnisse sind nach kurzer Zeit verfügbar.
Wichtig ist hier wie auch in der folgenden Variante, daß bei diesem ersten Schülerexperiment alle Apparaturen das gleiche Trägheitsmoment haben, wenn das Experiment in getrennt-gemeinschaftlicher Arbeit durchgeführt und die Ergebnisse ausgetauscht werden sollen. Es ist deshalb zu sichern, daß überall die gleichen Zusatzmassen in genau gleichem Abstand angebracht sind. Empfehlenswert ist in der Vorbereitung ein Vergleich des dynamischen Verhaltens der Apparaturen.

Variante 2

Das neuentwickelte Translations-Rotations-Gerät ist für die Messungen in gleicher Weise verwendbar. Auch hier könnte man in großen Gruppen arbeiten. Das handlichere Gerät ermöglicht auch ein Experimentieren in Zweiergruppen. Wahrscheinlich ist aber dann die Durchführung des Experimentes zeitaufwendiger.

(2) Die gedruckte Anleitung im Heft Schülerexperimente Physik 11/12 für M 1 wird durch mündliche Hinweise des Lehrers ergänzt, um den Schülern experimentell-technische Einzelheiten zu erläutern.

(3) Sofern die Trägheitsmomente der Apparaturen wirklich übereinstimmen, werden die Gruppen mit gleicher Aufgabenstellung nahezu gleiche Ergebnisse erzielen. Nur in diesem Falle sind die in getrennt-gemeinschaftlicher Arbeit erhaltenen Ergebnisse austauschbar. Der Lehrer wird also schon während der Arbeit die Ergebnisse der Schüler vergleichen und diesen Hinweis natürlich auch den Schülern geben.
Die Aufgaben 1 bis 3 der Auswertung werden jetzt erledigt. Die Aufgaben 4 und 5 können erst nach Behandlung des Trägheitsmomentes ausgeführt werden. Sie sind einer später zu erteilenden Hausaufgabe vorbehalten.

3. Stunde: Trägheitswirkungen bei Rotation

Stundenziele

Die Schüler

- wiederholen den Erkenntnisgang im Physikunterricht der Klasse 9, wo die Trägheitsgröße $m = F/a$ definiert wurde;
- schlußfolgern, daß in ähnlicher Weise für die Rotation eine Trägheitsgröße $J = M_D/\alpha$ definiert sein müßte;
- planen, wie mit der Apparatur aus der vergangenen Stunde dazu eine experimentelle Untersuchung durchzuführen ist;
- finden experimentell die Bestätigung der vermuteten Analogie;
- ermitteln im Experiment, daß $J \neq m$ ist, sondern von m und r abhängt.

Unterrichtsmittel

Wie 2. Stunde
dazu LB 9 (nach Möglichkeit)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Wiederholung und Analogieschluß **5 min**	Arbeit mit LB 9 (UG)
Vermutung: Bei der Translation ist die Trägheitsgröße $F/a = m$ definiert, folglich gibt es für die Rotation eine Trägheitsgröße $M_D/\alpha = J$. Problemstellung: Wovon ist diese Trägheitsgröße J bestimmt? Ist sie mit der Masse m identisch?	
(3) Planung der experimentellen Untersuchung **5 min**	Arbeit an der Tafel (UG)
Aus $J = M_D/\alpha$ folgt $[J] = \left[\frac{M_D}{\alpha}\right] = \frac{N \cdot m}{s^{-2}} = \frac{kg \cdot m \cdot m}{s^{-2} \cdot s^2} = kg \cdot m^2$ **Vermutung: es ist $J = f(m, r)$, demnach ist die experimentelle Untersuchung wie folgt durchzuführen: Drehmoment M_D konstant lassen, Winkelbeschleunigung α messen 1. in Abhängigkeit von der umlaufenden Masse m: $\alpha = f(m)$ 2. in Abhängigkeit von der Masseverteilung: $\alpha = f(r)$.**	
(4) Experimentelle Untersuchung **80 min**	Durchführen des Schülerexperiments M 2 in getrennt-gemeinschaftlicher Arbeit Teilexperiment A: $\alpha = f(r)$ mit m = konstant Teilexperiment B: $\alpha = f(m)$ mit r = konstant jeweils mit konstantem Drehmoment M_D (SSA)
(5) Hausaufgabe **5 min**	Anleitung zur selbständigen Auswertung nach Auswertung 1 bis 4 (Schülerexperimente Physik 11/12, S. 72 (LV))

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Das Vorgehen im Physikunterricht der Klasse 9 dient als Muster für die Gedankenentwicklung hier. Die Größe zur Beschreibung des Trägheitsverhaltens eines Rotationskörpers wird durch den analogen Quotienten definiert.

(3) Experimentell soll untersucht werden, wodurch die Trägheitsgröße bestimmt ist. Die Einheitenbetrachtung eröffnet schnell den Weg zu einer Vermutung, gibt zugleich auch Fingerzeige zur praktischen Ausführung der Messung.
Die in der vergangenen Stunde benutzte Apparatur läßt sich auch für dieses Experiment verwenden. Es wird einheitlich für alle Experimentiergruppen ein mittleres Drehmoment ausgewählt und konstant gehalten. In den beiden Teil-

experimenten A und B wird bei konstanter Zusatzmasse m deren Umlaufradius bzw. bei konstantem Umlaufradius r die Zusatzmasse verändert. Auch hier ist es günstig, die Messungen in getrennt-gemeinschaftlicher Arbeit auszuführen, die Ergebnisse zu vergleichen und dann später auszutauschen.
(4) Die Messung läuft ganz ähnlich ab wie in der vorhergehenden Stunde. Deshalb kann sich der Lehrer auf wenige Hinweise zur Ausführung beschränken. Er hat Gelegenheit, einzelne Experimentiergruppen zu beobachten, und dabei kann er deren Arbeit einschätzen.
(5) Die Schüler beginnen die Auswertung als Hausaufgabe nach der Anleitung (Schülerexperimente Physik 11/12). Diese Aufgabe bereitet das Vergleichen der Ergebnisse und deren Austausch und schließlich das Zusammenfassen und Verallgemeinern vor, die dann Inhalt der nächsten Stunde sein werden. Ratsam ist jedoch, daß der Lehrer sich schon vor der Hausaufgabenstellung informiert, ob die Meßergebnisse der Gruppen mit gleicher Aufgabenstellung wirklich übereinstimmen.

4. Stunde: Trägheitsmoment

Stundenziele

Die Schüler

- schließen die Auswertung des Experimentes ab und formulieren die Ergebnisse der Untersuchung;
- erkennen, daß in dem untersuchten Fall $J = r^2 \cdot m$ ist;
- erkennen aus weiteren Experimenten, daß für Kreisringe die gleiche Gesetzmäßigkeit gilt;
- schließen durch weiteres Verallgemeinern auf die Formeln zur Berechnung der Trägheitsmomente von Körpern und von Massepunkten.

Unterrichtsmittel

Reifenapparat mit Zubehör
Uhr (Stoppuhr oder Zentraluhr)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Abschluß der Auswertung der Experimente M 1 u. M 2 **15 min**	Vergleichen der Hausarbeit, Austauschen der Ergebnisse, Weiterführen der Auswertung nach LB, Formulieren der Ergebnisse (UG, SSA)
Ergebnisse: Die Winkelbeschleunigung ist der beschleunigten Masse umgekehrt proportional und dem Quadrat des Umlaufradius der beschleunigten Masse umgekehrt proportional. Das experimentell bestimmte Trägheitsmoment $J = M_D/\alpha$ ist nach $J = r^2 \cdot m$ zu berechnen.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Zusammenfassung und Verallgemeinerung **20 min**	UG (TB) DE: Reifenapparat
Das Trägheitsmoment eines Körpers beträgt $J = \int r^2 \cdot dm$. Das Trägheitsmoment eines Massepunktes bezüglich einer Achse im Abstand r beträgt $J = r^2 \cdot m$.	
(3) Beispiele (Ü) Hausaufgabe **10 min**	Diskussion technischer Beispiele (UG)
Das Trägheitsmoment jedes Körpers ist bestimmt von seiner Masse und von der Masseverteilung im Körper.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) In der Hausaufgabe wurde der erste Teil der Auswertung erledigt. Zu Punkt 2 der Anleitung ergibt sich:
Die Graphen der Darstellungen des Reziproken der Winkelbeschleunigung α als Funktion von m bzw. als Funktion von r^2 sind Geraden, d. h., α ist m und r^2 umgekehrt proportional (LBA S. 31). Dies sind die Ergebnisse der Teilexperimente A und B, die in getrennter Arbeitsweise gewonnen wurden. Jetzt werden sie zusammengefaßt. Dazu haben alle Schülergruppen das experimentell bestimmte Trägheitsmoment $J = M_D/\alpha$ errechnet. Die Arbeitsgruppen tauschen ihre Ergebnisse aus und bearbeiten die Punkte 4 und 5 der Auswertung.
Eine rechnerische Überprüfung erweist, der Zahlenwert des experimentell bestimmten Trägheitsmomentes ist fast genau gleich $r^2 \cdot m$. Abweichungen sind im wesentlichen durch das Trägheitsmoment des Befestigungsstabes und durch Reibung verursacht, bleiben aber so geringfügig, daß sie vernachlässigbar sind.

(2) Mit dem Reifenapparat wird im DE gezeigt, daß ein Reifen der Masse m und vom Radius r das gleiche Trägheitsmoment hat wie ein hantelförmiger Körper mit gleicher Masse und gleichem Radius.
Für einen starren Körper ergibt sich dann das Trägheitsmoment durch eine Summation (LB, Bild 32/3) $J = \int r^2 \cdot dm$. Den Zusatzkörper an dem relativ leichten Hantelstab kann man auch mit dem Denkmodell „Massepunkt, der über eine masselose starre Stange mit der Achse verbunden ist" beschreiben. So ergibt sich für diesen Massepunkt das Trägheitsmoment $J = r^2 \cdot m$.

(3) Zu den diskutierten Beispielen könnten u. a. gehören:

- die Formgebung von Schwungrädern, Schwungmassen in Verbrennungsmotoren, Ausgleichsmassen an Rädern der Lokomotiven, Kreisel in den Bordinstrumenten der Flugzeuge,
- die Auswirkung unsymmetrischer Masseverteilung, Unwucht,
- das Hinabrollen von Voll- und Hohlzylindern gleicher Masse und gleicher Außenmaße auf der geneigten Ebene,
- der Einfluß des Trägheitsmomentes und seine Änderung bei sportlichen Übungen (Reckturnen, Salto, Pirouette usw.).

Nach Möglichkeit werden die erläuterten Beispiele durch Bilder, Anschauungsmodelle oder Experimente illustriert. In manchen Unterrichtsmittelsammlungen sind hierzu spezielle Geräte vorhanden. Mit Teilen des Stativmaterials und des Reifenapparates sind Freihanddemonstrationen möglich.

Tafelbild

Bild 43/1

Trägheitsmoment

	Translation	Rotation
Grundgesetz	$F = m \cdot a$	$M_D = J \cdot \alpha$
Änderung des Bewegungszustands	a	α
Ursache dieser Änderung	F	M_D
Trägheit	m	J

5. Stunde: Übungen zum Trägheitsmoment

Stundenziele

Die Schüler

- üben den Umgang mit dem Grundgesetz der Dynamik der Rotation sowie das Berechnen von Trägheitsmomenten;
- diskutieren weitere technische Beispiele;
- lernen am einfachsten Beispiel die Problematik der Integration nach der Gleichung $J = \int r^2 \cdot dm$ kennen;
- lösen einfache Aufgaben zu Brems- und Beschleunigungsvorgängen.

Unterrichtsmittel

Drehscheibe nach Prandtl
Kreiselmodelle
u. a. (je nach Bestand in der Unterrichtsmittelsammlung)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Diese Stunde dient der Übung und Festigung.

Zunächst wird die Kontrolle der HA durchgeführt. Danach Übung mit etwa folgenden Beispielen:

1. Berechnung des Trägheitsmomentes eines stabförmigen Körpers durch Integration (Bild 44/1).

Ein Stab der Länge l, Masse m, Querschnitt A, Dichte ϱ, rotiert um eine Achse, die rechtwinklig zum Stab durch dessen Schwerpunkt verläuft.
Man denke sich den Stab aus dünnen Scheibchen der Stärke Δr aufgebaut. Eines der Scheibchen hat das Volumen

$$\Delta V = A \cdot \Delta r$$

und die Masse $\Delta m = A \cdot \Delta r \cdot \varrho$.
Für den Grenzübergang $r \to 0$ strebt $m \to \mathrm{d}m$ mit

$$\mathrm{d}m = A \cdot \varrho \cdot \mathrm{d}r .$$

Dies wird in die Gleichung
$J = \int r^2 \cdot \mathrm{d}m$ eingesetzt. Die Integrationsgrenzen werden so festgelegt, daß die Integration über alle Masseelemente des Körpers erfolgt:

$$J = 2 \int_0^{l/2} A \cdot \varrho \cdot r^2 \cdot \mathrm{d}r .$$

Bild 44/1



Die Integration ergibt

$$J = 2\,A \cdot \varrho \left[\frac{r^3}{3}\right]_0^{l/2} .$$

Mit Einsetzen der Integrationsgrenzen wird

$$J = \frac{1}{12} A \cdot \varrho \cdot l^3 ,$$

und mit $m = A \cdot \varrho \cdot l$

folgt $J = \frac{1}{12} m \cdot l^2$.

Diese Herleitung zeigt das Prinzip, eine geeignete Substitution zu finden, so daß nur eine der beiden Integrationsvariablen r und m verbleibt, die Integrationsgrenzen dadurch angebbar sind und das Integral lösbar wird.

2. Aufsuchen der im Lehrbuch und in „Tabellen und Formeln" enthaltenen Formeln zur Berechnung der Trägheitsmomente anderer einfacher Körper. Diskussion der Gleichungen unter dem Gesichtspunkt der Masseverteilung.

3. Ausgewählte Rechenbeispiele dazu finden sich im Aufgabenteil des Lehrbuches.

4. Diskussionen technischer Beispiele unter dem Gesichtspunkt: Wo werden möglichst große bzw. möglichst kleine Trägheitsmomente angestrebt? Die Diskussion setzt sich mit verschiedenen, von den Schülern vorgeschlagenen Lösungsvarianten auseinander.
5. Weitere Demonstrationsexperimente mit Unterrichtsmitteln, die in der Sammlung der Schule vorhanden sind (z. B. Prandtlsche Drehscheibe, Kreiselmodelle o. dgl.).
Als HA werden SV zu den Anwendungsbeispielen LB S. 36 vergeben.

6. Stunde: Rotationsenergie

Stundenziele

Die Schüler

- schließen von der Gleichung der kinetischen Energie der Translation auf eine analoge Gleichung der Rotationsenergie;
- erkennen die Richtigkeit dieses Analogieschlusses aus den Ergebnissen der Schülerexperimente;
- lernen die theoretische Herleitung der Gleichung kennen;
- berechnen die Rotationsenergie in Anwendungsverfahren.

Unterrichtsmittel

Protokolle der Schülerexperimente M 1 und M 2.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Analogie Translation-Rotation (W) **10 min**	Geordnetes Zusammenstellen der Größen und Gleichungen (UG) HA (SV, K)
	Translation / Rotation
Lage	s / σ
Bewegungszustand	v / ω
Zustandsänderung	a / α
Wechselwirkungsgröße	F / M_D
Trägheit	m / J
Grundgesetz	$F = m \cdot a$ / $M_D = J \cdot \alpha$
Bewegungsenergie	$E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ / $E_{rot} = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2$
(2) Verifizieren des Analogieschlusses (Fst) **10 min**	UG zur Anleitung, dann Stillarbeit: weitere rechnerische Auswertung der SE M 1 und M 2 (SSA, TB)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Bei den Messungen ist die nach $E_{rot} = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2$ berechnete Rotationsenergie gleich der nach $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ berechneten potentiellen Energie.	
(3) Rotationsenergie (E) **10 min**	theoretische Herleitung (LV)
(4) Übungsaufgaben (A) **15 min**	Rechnen in Stillbeschäftigung oder an der Tafel (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Bei den Messungen mit konstantem Trägheitsmoment in den Schülerexperimenten ist auffällig, daß bei gleichem Betrag der Antriebskräfte unabhängig vom Antriebsradius immer die gleiche End-Winkelgeschwindigkeit erreicht wurde. Es läßt sich auch zeigen, daß $\omega^2 \sim F$ ist.
Bestimmt man die Rotationsenergie nach $E_{rot} = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2$ mit Hilfe des experimentell bestimmten Trägheitsmomentes $J = M_D/\alpha$, sodann die zum Beschleunigen umgesetzte potentielle Energie $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ des Antriebskörpers, so erhält man in allen Messungen der Experimente M 1 und M 2 eine sehr gute Übereinstimmung dieser beiden Werte. Nach dem Energieerhaltungssatz muß die Antriebsarbeit gleich der Rotationsenergie sein. Die gezeigte Übereinstimmung beweist, daß die durch Analogieschluß erhaltene Gleichung $E_{rot} = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2$ richtig ist.

(3) Es ist auch möglich, eine theoretische Herleitung zu erläutern. Man nimmt dazu an, ein Massepunkt m rotiert mit dem Abstand r um eine Achse, mit der er durch eine masselos gedachte starre Stange verbunden ist. Seine kinetische Energie zu einem bestimmten Zeitpunkt ist $E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$.

Mit $v = \omega \cdot r$

folgt $E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot r^2 \cdot \omega^2$,

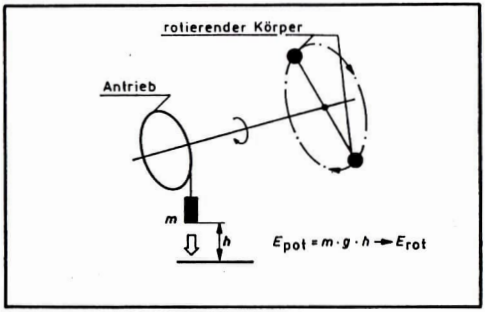
und mit $J = r^2 \cdot m$

ergibt sich $E_{kin} = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2$.

Diese Gleichung für die kinetische Energie der Rotation eines Massepunktes kann dann auf ein System von Massepunkten, auf einen Kreisring, auf einen beliebigen starren Körper gedanklich erweitert werden.
Auch an dieser Stelle ist ein Hinweis angebracht, daß $\frac{1}{2} m \cdot v^2$ und $\frac{1}{2} J \cdot \omega^2$ ein und dieselbe Bewegungsenergie lediglich für unterschiedliche Bewegungsformen darstellen.

Tafelbild

Bild 47/1



7. und 8. Stunde: Anwendung, Festigung und Übung zur Kinematik und Dynamik

Stundenziele

Die Schüler

- wiederholen und vertiefen ihr Wissen zur Mechanik;
- üben sich im Lösen mathematisch-physikalischer Aufgaben;
- festigen ihr Können im Umgang mit Bewegungsdiagrammen;
- wenden ihre Kenntnisse auf Beispiele aus der Praxis an;
- führen erneut eine experimentelle Untersuchung aus, üben dabei das Messen von Zeiten, das grafische Darstellen der Meßwerte und die rechnerische Auswertung.

Unterrichtsmittel

Reifenapparat mit Zubehör, Stoppuhren
Folien
Arbeitsblätter

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Beim Üben und Festigen muß der Lehrer den Leistungsstand seiner Schüler zuvor einschätzen und darauf den Stundenverlauf aufbauen. Beherrschen die Schüler bestimmte Verfahren, wird er den Schwierigkeitsgrad steigern — sofern das im Sinne des Lehrplanes liegt — oder auf andere Dinge übergehen. Dafür gibt es zahlreiche Möglichkeiten bei der Vielfalt der Anforderungen an das Wissen und Können in diesem Stoffgebiet. Für die Stunden läßt sich also keine verallgemeinerungsfähige Ablaufplanung angeben. Im folgenden werden nur Anregungen zur Stundengestaltung zusammengestellt.

Die Wiederholung und Übung kann und soll mit einer mündlichen Leistungskontrolle verknüpft werden. Dazu gibt es verschiedene Varianten. So kann einem Schüler eine bestimmte Aufgabe zur Lösung vor der Klasse übertragen werden, wobei die Klasse still mitarbeitet. Oder ein Schüler hält einen Kurzvortrag, den er in häuslicher Arbeit vorbereitet hat. In der Themenstellung könnte die Systematisierung des Stoffes (LB S. 38), der Gang der Erkenntnisgewinnung im Stoffgebiet (LB S. 37), die Anwendung des Wissens auf Beispiele aus der Praxis (LB S. 36) verarbeitet sein.
Auch kann man mit einer Gruppe von Schülern ein Prüfungsgespräch führen, die Klasse erhält für diese Zeit Aufgaben zur schriftlichen Bearbeitung.

Anregungen zum Stundeninhalt

1. Experimentelle Untersuchung zur Rotation: Aufnahme und Auswertung von σ-t-Diagrammen. Der Reifenapparat wird in Umdrehung versetzt. Eine Anzahl Schüler, mindestens 8, erhalten je eine Handstoppuhr und messen die Zeit für 0,5; 1,0; 1,5 ... Umdrehungen. Aus der Anzahl der Umdrehungen und den gemessenen Zeiten wird das Drehwinkel-Zeit-Diagramm gezeichnet. Aus den Meßwerten sind die momentane Winkelgeschwindigkeit, die Winkelbeschleunigung, vielleicht auch die Rotationsenergie zu berechnen. Die Messungen sind vielseitig variierbar. Man kann gleichförmige und beschleunigte Rotationsbewegungen untersuchen, kann unterschiedliche Trägheitsmomente und Antriebsmomente wählen, man kann auch die Translation am Fadenzeiger beobachten und das Grundgesetz der Dynamik oder den Energieerhaltungssatz in die experimentelle Untersuchung einbeziehen.

2. Das Lehrbuch bietet eine Vielzahl mathematisch-physikalischer Aufgaben zur Rotation (Nr. 36 bis 52). Eine Auswahl davon (z. B. 36, 38, 42, 47, 51) wird in den Übungen bearbeitet. Das geschieht bei schwierigen Aufgaben so, daß der Lehrer die Aufgaben im Unterrichtsgespräch an der Tafel löst. Sonst rechnet ein Schüler die Aufgabe vor, ggf. mit Hilfe des Lehrers, oder die Schüler bearbeiten die Aufgaben selbständig im Heft. Dabei kann der Lösungsweg während der Arbeit von den Schülern kommentiert werden. Zumindest aber sind am Ende Lösungsweg und Ergebnisse gemeinsam auszuwerten.

3. Im Aufgabenanhang des Lehrbuches sind eine Anzahl qualitativer Aufgaben enthalten. Vielleicht konnten auch die im Textteil des Buches enthaltenen Aufgaben noch nicht alle bearbeitet werden. Qualitative Aufgaben werden im Unterrichtsgespräch gelöst, sie eignen sich oft auch für mündliche Leistungskontrollen.

4. Arbeitsblatt zur Systematisierung des Wissens (Anhang).

5. Arbeitsblatt zur Übung (Anhang).

6. Es kann nochmals eine geordnete Zusammenstellung der Größen und Gesetze erarbeitet werden, Gültigkeitsbedingungen der Gesetze sind zu erläutern, grafische Darstellungen dazu zu skizzieren, der Erkenntnisweg des Unterrichts zu einem eng begrenzten Stoffabschnitt kann selbständig aufgeschrieben werden.

9. Stunde: Leistungskontrolle

Hier wird ein Beispiel für eine schriftliche Leistungskontrolle gegeben. Dieses soll nicht als verbindliche Klassenarbeit aufgefaßt werden. Sein Sinn ist, den Lehrern eine Anregung zur eigenen Gestaltung solcher Kontrollarbeiten zu geben. In diesem Vorschlag wurde angestrebt:

1. Aufgaben zur Kinematik wie zur Dynamik, zur Translation wie zur Rotation zu stellen.

2. In der Mechanik spielen mathematisch-physikalische Aufgaben eine große Rolle. Deshalb dominieren solche Aufgabenstellungen. Aber auch das Umgehen mit grafischen Darstellungen sowie das Lösen qualitativer Aufgaben fanden Berücksichtigung.

Aufgaben

1. Ein 2,5 kg schwerer Messingzylinder von 120 mm Durchmesser soll für ein Experiment als Kreisel mit 600 Umdrehungen je Minute laufen. Dazu wird er mit einem Faden umwickelt und aufgezogen, wobei mit konstanter Kraft 100 cm Faden abgezogen werden.
   a) Berechnen Sie das Trägheitsmoment des Zylinders!
   b) Mit welcher Kraft muß man ihn aufziehen?

2. Bei einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung werden folgende Weg-Zeit-Wertepaare ermittelt:

t in s	0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
s in m	2,0	2,5	4,0	10,0	20,0	34,0

   a) Zeichnen Sie das Weg-Zeit-Diagramm!
   b) Bestimmen Sie aus dem Bild die Anfangsgeschwindigkeit!
   c) Berechnen Sie die Beschleunigung aus zwei ausgewählten Wertepaaren!

3. Ein Voll- und ein Hohlzylinder haben gleiche Außenmaße und gleiche Masse. Beide rollen eine geneigte Ebene hinab.
   a) Geben Sie eine begründete Aussage über ihre Geschwindigkeiten!
   b) Äußern Sie sich zum Aufbau der beiden Zylinder!

Lösungen

Aufgabe 1

Gegeben:

$m = 2{,}5\ \text{kg}$

$r = 60\ \text{mm} = 0{,}06\ \text{m}$

$n = 600\ \text{min}^{-1} = 10\ \text{s}^{-1}$

$s = 1{,}0\ \text{m}$

Gesucht:

a) J

b) F

Lösung:

a) $J = \frac{1}{2} m \cdot r^2$ (Zylinder)

$J = \frac{1}{2} \cdot 2{,}5\ \text{kg} \cdot 0{,}06^2\ \text{m}^2$

$\underline{\underline{J = 4{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{m}^2}}$

b) $F \cdot s = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2$

$\omega = 2\pi \cdot n$

$F \cdot s = \frac{1}{2} J \cdot 4\pi^2 \cdot n^2$

$F = \frac{J \cdot 4\pi^2 \cdot n^2}{2s}$

$F = \frac{4{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot 4\pi^2 \cdot 100\ \text{s}^{-2}}{2 \cdot 1{,}0\ \text{m}}$

$\underline{\underline{F = 8{,}9\ \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}}}$

Antwortsatz: Dieser Kreisel hat ein Trägheitsmoment von $4{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$, unter den gegebenen Bedingungen ist zum Aufziehen eine Kraft von 8,9 N erforderlich.

Aufgabe 2

a) Bild zeichnen

b) Zum Zeitpunkt $t = 0$ verläuft die Tangente horizontal, also ist $v_0 = 0$.

c) Mit $v_0 = 0$ folgt aus $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$

$a = \frac{2(s - s_0)}{t^2}$, hieraus ergibt sich mit jeder Wertekombination

$a = 4{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Antwortsatz: Die Anfangsgeschwindigkeit beträgt 0, der Körper wird mit $4{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ beschleunigt.

Aufgabe 3

a) Der Vollzylinder wird schneller rollen als der Hohlzylinder. Wegen gleicher Masse werden beide auf der geneigten Ebene durch die gleiche Kraft beschleunigt, aber der letztere hat wegen der weiter nach außen verteilten Masse ein größeres Trägheitsmoment.

b) Bei gleichen Außenmaßen und gleicher Masse muß der Hohlzylinder aus einem Material größerer Dichte bestehen.

Stoffeinheit Felder

19 Stunden

Vorbemerkungen

In der Stoffeinheit elektrostatische, magnetostatische und elektromagnetische Felder besteht das Hauptziel des Unterrichts darin, Teile des Wissens der Schüler aus den Klassen 8, 9 und 10 zu erweitern, zu systematisieren und zu festigen. Die Erweiterung und Vertiefung erfolgt vor allem durch die quantitative Behandlung feldbeschreibender Größen des elektrostatischen und des magnetostatischen Feldes, des Induktionsgesetzes und der Selbstinduktion. Weiterhin lernen die Schüler am Beispiel des Plattenkondensators und der Spule die Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke bzw. der magnetischen Flußdichte von der felderzeugenden Anordnung kennen. In den weitaus meisten Stunden dominiert das Wiederholen und Festigen. Es trägt infolge des gegenüber der Klasse 9 wesentlich gewachsenen Wissens und Könnens der Schüler stark systematisierenden Charakter.

Die im Zusammenhang mit der historischen Entwicklung des Feldbegriffes herauszuarbeitende körperbezogene und feldbezogene Betrachtungsweise wird am Beispiel des elektrostatischen Feldes bewußt gemacht und bei den magnetischen Grunderscheinungen wiederholend angewandt.

Das gegenüber der Behandlung in den Klassen 9 und 10 wesentlich tiefergehende Verständnis bezüglich der elektromagnetischen Induktion wird in der 10. bis 18. Stunde stufenweise erreicht. Am Anfang steht ein Einblick in die Fülle der möglichen Anordnungen, bei denen Induktionserscheinungen auftreten. Im Sinne der Herausarbeitung des Wesentlichen erfolgt eine Einteilung in Vorgänge, bei denen ein konstantes Magnetfeld vorliegt, und solche mit einem veränderlichen Magnetfeld. Nach dem Bewußtmachen der notwendigen Bedingungen für das Auftreten einer Induktionsspannung in jedem der Fälle wird zunächst eine getrennte mathematische Beschreibung vorgenommen, die schließlich durch Zusammenfassen der Ergebnisse einen vorläufigen Abschluß mit der Formulierung des Induktionsgesetzes findet. Eine erste Vertiefung erfolgt im Zusammenhang mit der wiederholenden Behandlung der Selbstinduktion und der Herleitung der Gleichungen für die Selbstinduktionsspannung und die Induktivität einer Spule. Die Betrachtungen zum Motor und zum Generator, insbesondere zur engen Verknüpfung der Wirkungsweise beider Geräte, sowie zum Transformator vermitteln den Schülern weitere wichtige Einsichten. Abschließend ermöglicht die Behandlung wesentlicher Inhalte der Maxwellschen Gleichungen eine Verallgemeinerung auf höherer Ebene. Mit der Behandlung des elektrostatischen, magnetostatischen und elektromagnetischen Feldes werden die Schüler zur Einsicht geführt, daß zwischen dem elektrischen und dem magnetischen Feld ein enger Zusammenhang besteht.

Parallel zur Behandlung der elektromagnetischen Induktion wird auch das Lenzsche Gesetz wiederholt in den Vordergrund gerückt und als Spezialfall des allgemeinen Energieerhaltungssatzes charakterisiert. Das geschieht zunächst bei der Formulierung des Induktionsgesetzes, nachfolgend bei der Behandlung der Selbstinduktion und schließlich beim Aufzeigen der engen Verknüpfung von Motor und Generator.

Um die Vielfalt der Induktionserscheinungen einer systematischen Untersuchung zugänglich zu machen, gliedert der Lehrplan in Induktionsvorgänge in zeitlich konstanten und in zeitlich veränderlichen Magnetfeldern. Diese Aussagen sind auf die felderzeugende Anordnung bezogen. Demgegenüber wurden in Klasse 9 die Betrachtungen ausgehend von der Induktionsspule durchgeführt. Dort wurde herausgearbeitet, daß eine Induktionsspannung dann auftritt, wenn sich die Stärke des von der Induktionsspule umschlossenen Magnetfeldes zeitlich ändert. Nun kann zwar im Prinzip das Bezugssystem leicht gewechselt werden, der Lehrer sollte jedoch diese Fälle besonders gründlich durchdenken, um Verwirrungen bei den Schülern vorzubeugen. Insbesondere muß er bei der Interpretation der Gleichungen darauf hinweisen, daß einige der Größen durch die felderzeugende Anordnung, andere durch die Induktionsspule bestimmt werden.

Die Tatsache, daß der Wiederholung in dieser Stoffeinheit eine besonders große Bedeutung zukommt, hat nachhaltigen Einfluß auf die Gestaltung der Unterrichtsstunden. Die Phasen des Unterrichtsprozesses, die der Wiederholung und Übung dienen, müssen vielfältig und abwechslungsreich gestaltet werden, um zu garantieren, daß die Schüler über das geforderte Wissen und Können verfügen. Die vorgeschlagene Stoffaufteilung macht das möglich, die Stundenentwürfe geben Anregungen für die Gestaltung.

Dabei wird besonderes Augenmerk auf die selbständige Wiederholung aus den Klassen 8, 9 und 10 bereits zu der Unterrichtsstunde, in der die vertiefende Behandlung erfolgt, gelegt. Die Hausaufgabe dient deshalb in vielen Fällen nicht in erster Linie der Nachbereitung bez. des behandelten Stoffes, sondern der Vorbereitung auf die Inhalte der folgenden Stunden. Der Lehrer muß diese Relation beim Festlegen des Zeitvolumens und der Anlage der Wiederholung aus der vorangegangenen Stunde berücksichtigen.

Weiterhin nehmen Schülervorträge einen breiten Raum ein. Sie dienen der weiteren Befähigung der Schüler, physikalische Sachverhalte anschaulich, fachlich einwandfrei und in systematischer Folge darzustellen. Dabei entwickeln die Schüler ihre Fähigkeiten weiter, sich neues Wissen selbst anzueignen, und sie erwerben Fertigkeiten in der Arbeit mit Lehrbüchern, Nachschlagewerken und Wissensspeichern.

In einigen der Unterrichtsstunden wird ein wesentlicher Beitrag zur Befähigung der Schüler geleistet, Experimente zu planen, durchzuführen und auszuwerten sowie Aufgaben mit Hilfe mathematisch-physikalischer Methoden zu lösen. Vor allem bezüglich der Planung der Experimente ist eine differenzierte Anleitung der Schüler erforderlich. Sie muß auch Aussagen über die zur Verfügung stehenden gegenständlichen Mittel beinhalten. Die Verschiedenartigkeit der Experimentiergeräte sollte möglichst ausgeprägt sein, um breite Denkmöglichkeiten zuzulassen.

Obwohl der Lehrplan bezüglich der praktischen Anwendung der behandelten gesetzmäßigen Zusammenhänge und Geräte keine expliziten Forderungen enthält, sollte in besonders geeigneten Situationen in allen Phasen des Unterrichtsprozesses entsprechend dem Prinzip der Einheit von Wissenschaftlichkeit, Parteilichkeit und Lebensverbundenheit den Schülern Gelegenheit gegeben werden, sich mit weltanschaulichen, politischen und ökonomischen Fragen auseinanderzusetzen. Hierbei sind besonders die örtlichen Gegebenheiten und die Kenntnisse und Er-

fahrungen, die die Schüler in der wissenschaftlich-praktischen Arbeit gewonnen haben, zu nutzen.

Die Untersuchung des elektrostatischen, des magnetostatischen und des elektromagnetischen Feldes leistet einen wichtigen Beitrag, bei den Schülern das Verständnis wesentlicher Merkmale des philosophischen Materiebegriffs zu fördern. Das Vertiefen der Einsicht, daß elektrische und magnetische Felder objektiv real existieren und erkennbar sind, obwohl wir sie mit unseren Sinnesorganen nicht direkt wahrnehmen können, trägt in hohem Maße zur philosophisch-weltanschaulichen Bildung und Erziehung der Schüler bei. Die Nutzung der erworbenen Kenntnisse zur Bestimmung wichtiger mikrophysikalischer Größen (e, e/m und m des Elektrons) leistet hierzu ebenfalls einen wichtigen Beitrag.

Die ersten 3 Stunden zur elektromagnetischen Induktion (10. bis 12. Stunde) stellen eine Einheit dar. Je nach den Kenntnissen und dem Leistungsvermögen der Schüler werden sich im Sinne einer soliden Behandlung der Grundlagen Verschiebungen der Inhalte erforderlich machen, die ggf. sogar noch in die folgenden Stunden hineinreichen. So ist es z.B. möglich, anhand einfacher, in systematischer Folge angeordneter Experimente (etwa analog den Darstellungen im LB) die Bedingungen für das Zustandekommen einer Induktionsspannung zum Inhalt der gesamten 10. Unterrichtsstunde zu machen. In der 11. Stunde erfolgt dann die Behandlung der Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld, in der 12. Stunde im zeitlich veränderlichen Magnetfeld einschließlich der Formulierung des Induktionsgesetzes. Diese Variante empfiehlt sich besonders für Schüler mit geringen Vorkenntnissen.

Eine weitere Variante besteht darin, nach Ablauf der 10. Stunde entsprechend dem Vorschlag auf den Seiten 83 bis 85 die 11. Stunde der weiteren Behandlung der Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld vorzubehalten und hier eine erste Realisierung der von den Schülern geplanten experimentellen Anordnungen sowie die Diskussion von Anwendungsbeispielen vorzunehmen. In der 12. Stunde werden dann die Induktionsspannung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld und das Induktionsgesetz behandelt.

Bei der Wahl der zeitlichen Relationen ist bei allen Varianten zu berücksichtigen, daß in Klasse 9 der Schwerpunkt auf der Erzeugung der Induktionsspannung durch „zeitliche Änderung der Stärke des von der Induktionsspule umschlossenen Magnetfeldes" lag.

Die Betrachtungen zur wirksamen Fläche bereiten den Schülern erfahrungsgemäß Schwierigkeiten. Sie erfolgen, ausgehend vom technisch bedeutungsvollen Generator, im Zusammenhang mit den Induktionserscheinungen im zeitlich konstanten Magnetfeld und sollten besonders sorgfältig geplant werden.

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Das elektrostatische Feld** Feldbegriff Merkmale und Beschreibung des elektrostatischen Feldes	Begriff des elektrischen Feldes, Feldlinien, Feldstärke $E = F/Q$, Feldformen. Feld als objektive Realität und Feldlinien als Modell (Ph 8, Ph 9)	Folie mit verschiedenen Feldlinienbildern DE: verschiedene Formen elektrischer Felder (PSV 6, V 5.2.3.) Wi Ph S. 186 bis 189 LB S. 42 bis 44
2. **Kräfte auf elektrisch geladene Körper** Feld als Erscheinungsform der Materie Feldbezogene und körperbezogene Betrachtungsweise Coulombsches Gesetz	Kraftwirkungen auf elektrisch geladene Probekörper, Coulombsches Gesetz (Ph 9) Begriff Materie (Stabü 11)	DE: Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Kraft und Abstand zweier elektrisch geladener Körper. (PSV 6; V 5.2.5., V 5.2.7.) Wi Ph S. 175, 189
3. **Elektrostatisches Feld eines Plattenkondensators** Beschreibung eines homogenen elektrostatischen Feldes Bewegung elektrisch geladener Teilchen im elektrostatischen Feld	Elektrisches Feld eines Plattenkondensators, Definition der Spannung $U = W/Q$, Arbeit an einem Ladungsträger im elektrostatischen Feld (Ph 8, Ph 9)	DE: Modellversuche zur Bewegung elektrisch geladener Körper im Feld und zum Millikan-Versuch (PSV 6, V 5.2.8., V 5.2.12.; PSV 11, V 3.3.1.)
4. **Das magnetostatische Feld** Kräfte in magnetostatischen Feldern Beschreibung magnetostatischer Felder mit dem Feldlinienmodell	Kräfte zwischen stromführenden Leitern und Dauermagneten, Kraftwirkungen auf Probekörper, Feldlinienmodell (Ph 9) Begriffe Materie, Kontinuität, Diskontinuität, Raum, Zeit (Stabü 11)	LB S. 47 bis 49 DE: Kraft auf einen Probekörper, Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter, Kraft zwischen stromdurchflossenen Leitern, DE: Verlauf einzelner Feldlinien DE: Feldlinienbilder
5. **Die magnetische Flußdichte** Vergleich magnetostatischer und elektrostatischer Felder (Teil 1) magnetische Flußdichte und ihre Einheit	Magnetisches Feld (Ph 9)	LB S. 49 bis 52 FO: Gegenüberstellung magnetostatische Felder — elektrostatische Felder DE: Stricknadelversuch DE: PSV 9, V 1.4.5.
6. **Das homogene Magnetfeld einer Spule** Gleichung für die magnetische Flußdichte magnetische Feldkonstante relative Permeabilität	Abhängigkeit der Stärke des Magnetfeldes einer Spule (Ph 9)	LB S. 51 bis 53 DE: Abhängigkeit der magnetischen Flußdichte von Stromstärke, Windungszahl und Länge der Spule

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
7. Stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld Vergleich magnetostatischer und elektrostatischer Felder (Teil 2) Die Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld	Kräfte zwischen stromführenden Leitern und Dauermagneten (Ph 9)	LB S. 53 FO: Gegenüberstellung magnetostatische Felder — elektrostatische Felder
8. Die Lorentzkraft Ablenkung bewegter Ladungen im Magnetfeld Gleichung für die Lorentzkraft Bedeutung der Lorentzkraft	Ablenkung bewegter Ladungsträger im Magnetfeld, elektromagnetische Induktion (Ph 9), Vektorprodukt (Ma 12)	LB S. 53 bis 54 DE: Ablenkung bewegter Ladungsträger im Magnetfeld DE: Einfluß der magnetischen Induktion auf die ablenkende Kraft SV: Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise einer Fernsehbildröhre
9. Die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons Wichtige Beziehungen im elektrostatischen und magnetostatischen Feld (Kurzarbeit) Spezifische Ladung des Elektrons	Elektronen, elektrische Ladung (Ph 8)	LB S. 54 bis 55 FO: Wichtige Beziehungen im elektrostatischen und magnetostatischen Feld (Kurzarbeit) DE: Spezifische Ladung des Elektrons (PSV 11, V 3.2.1.)
10. Die Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld Vielfalt der experimentellen Anordnungen, bei denen eine Induktionsspannung auftritt Bedingungen für den Induktionsvorgang Herleiten der Beziehung für die Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld, wirksame Fläche	Physikalische Bedingungen für die elektromagnetische Induktion (Ph 9) Induktion einer Wechselspannung (Ph 10) Quantenhafte Anregung durch kinetische Energie (Ph 11) Bedeutung der elektromagnetischen Induktion (ESP 10) Notwendige und hinreichende Bedingungen (Ma 11)	LB S. 56 bis 62 FO: Wesentliche experimentelle Anordnungen zur Erzeugung einer Induktionsspannung DE: Erzeugung einer Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld mit verschiedenen Anordnungen DE: Erzeugen einer Induktionsspannung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld mit verschiedenen Anordnungen
11. Die Induktionsspannung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld Berechnen der wirksamen Fläche Herleiten der Beziehung für die Induktionsspannung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld	Physikalische Bedingungen für die elektromagnetische Induktion (Ph 9) Wirkungsweise des Wechselstromgenerators (Ph 10)	LB S. 62 bis 63 FO: Experimentelle Anordnungen (aus der 10. Stunde) DE: Induktion beim Bewegen einer Rahmenspule über eine Polfläche: — Rahmenspule, Polfläche aus keramischen Magneten (Selbstbau)

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
12. **Das Induktionsgesetz** Magnetischer Fluß Induktionsgesetz Zusammenhang Lenzsches Gesetz – Energieerhaltungssatz Planung und Durchführung von Experimenten	Induktionsspannung, Lenzsches Gesetz (Ph 9) Energieerhaltungssatz der Mechanik (Ph 7) Allgemeiner Energieerhaltungssatz (Ph 8) Differenzen- und Differentialquotient (Ma 11)	LB S. 63 bis 66 DE: Experimente zur Veranschaulichung des Induktionsgesetzes DE: PSV 9, V 2.1.8. DE: PSV 9, V 2.4.1.
13. **Die Induktivität einer Spule** Gleichung für die Induktivität Einheit der Induktivität Bedeutung der Induktivität	Selbstinduktion, Induktivität (Ph 9) induktiver Widerstand (Ph 10) Differentialquotient, Exponentialfunktion (Ma 11)	LB S. 65 bis 67 DE: i-t-Diagramm einer Spule DE: Veränderung des i-t-Diagramms bei Variieren des Eisenschlusses
14. **Induktion (Wiederholung und Vertiefung)** Induktionsgesetz Φ-t-Diagramm Lenzsches Gesetz Induktivität	Zusammenhang zwischen Einzelnem, Besonderem und Allgemeinem, Zusammenhang von Kausalität und Wechselwirkung, Unzerstörbarkeit der Materie (Stabü 11)	DE: Induktion beim Bewegen einer Rahmenspule über eine Polfläche DE: PSV 9, V 2.1.3. DE: PSV 9, V 2.1.9. SV: Herleiten der Gleichung für die Induktivität einer Spule
15. **Der Generator** Aufbau und Wirkungsweise Energieumwandlungen im Generator Anwendung	Das Generatorprinzip (Ph 9) Wirkungsweise des Wechselstromgenerators, Energieumwandlungen im Generator (Ph 10) Erzeugung von Dreiphasenwechselstrom (ESP 10)	LB S. 69 bis 70 DE: Wirkungsweise des Generators DE: Drehmoment beim Generator in Abhängigkeit von der elektrischen Belastung SV: Aufbau des Wechselstromgenerators SV: Aufbau des Gleichstromgenerators
16. **Der Motor** Aufbau und Wirkungsweise des Gleichstrommotors Zusammenhang zwischen elektromotorischem Prinzip und Generatorprinzip Anwendung des Motors	Elektromotorisches Prinzip, Gleichstrommotor (Ph 9), Drehstrom-Asynchronmotor (ESP 10)	LB S. 57 und S. 71 DE: Wirkungsweise des Gleichstrommotors DE: Abhängigkeit der Ankerstromstärke von der mechanischen Belastung DE: Enge Verknüpfung von Generator und Motor SV: Aufbau und Wirkungsweise des Motors

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleisturgen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
17. Der Transformator Aufbau und Wirkungsweise Spannungsverhältnisse am unbelasteten Transformator Stromstärkeverhältnisse am Transformator	Elektromagnetische Induktion (Ph 9) Aufbau und Wirkungsweise des Transformators (Ph 10)	LB S. 72 bis 73 DE: PSV 9, V 2.2.5. Rückwirkung des Sekundärstromes auf den Primärstrom SV: Aufbau und Wirkungsweise des Transformators
18. Die untrennbare Verknüpfung des elektrischen und des magnetischen Feldes Magnetfeld — elektrisches Feld elektrisches Feld — Magnetfeld Bedeutung der Maxwellschen Theorie	Unzerstörbare Einheit von veränderlichen magnetischen und elektrischen Feldern (Ph 9) Dialektische Bewegungsauffassung (Stabü 11)	LB S. 73 bis 75 DE: Demonstration des elektrischen Feldes, das bei zeitlicher Änderung des Magnetfeldes auftritt
19. Schriftliche Leistungskontrolle		

1. Stunde: Das elektrostatische Feld

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den Begriff und die Merkmale eines elektrostatischen Feldes;
- wissen, daß auf elektrisch geladene Körper im elektrostatischen Feld Kräfte ausgeübt werden;
- festigen die Überzeugung von der objektiven Realität des elektrischen Feldes;
- kennen wesentliche Etappen der historischen Entwicklung des Feldbegriffs.

Unterrichtsmittel

Polylux, Folie
PSV 6, V 5.2.3.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Begriff und Merkmale des elektrostatischen Feldes (W) **10 min**	Kurzes Einführen in das Stoffgebiet Elektrodynamik unter Verwendung der Einführungsabschnitte LB S. 39 und S. 40 Wiederholen des Begriffs und wesentlicher Merkmale eines elektrostatischen Feldes (UG)
In der Umgebung jeder elektrischen Ladung besteht ein elektrisches Feld. Ein elektrisches Feld um ruhende elektrische Ladungen wird als elektrostatisches Feld bezeichnet. Auf elektrisch geladene Probekörper werden im elektrostatischen Feld Kräfte ausgeübt.	
(2) Beschreibung des elektrostatischen Feldes (W) **20 min**	Beschreiben elektrostatischer Felder mittels Feldlinien (DE, UG, TBa) Beschreiben elektrostatischer Felder mit Hilfe der Feldstärke (UG, SSA, TBb, c)
Elektrostatische Felder können mit Hilfe von Feldlinien oder durch die Feldstärke $E = F/Q$ beschrieben werden. Die Existenz eines elektrostatischen Feldes läßt sich mit Hilfe geeigneter Versuchsanordnungen nachweisen.	
(3) Entwicklung des Feldbegriffs (E) **15 min**	Informieren über wichtige Etappen der historischen Entwicklung des Feldbegriffs (SSA, HA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Die ersten drei Stunden dieses Lehrplanabschnittes dienen im wesentlichen der Wiederholung, Vertiefung und Systematisierung des Wissens der Schüler über elektrostatische Felder, das sie in Klasse 9 (Lehrplanabschnitt 2.1.) erworben haben.

(1) Zu Beginn der Stunde werden die Schüler auf den Lehrstoff der nachfolgenden Stunden orientiert. In einem kurzen LV ist ihnen bewußtzumachen, daß exakte Kenntnisse über das elektrische und magnetische Feld Voraussetzung für das Verständnis vieler technischer Anwendungen sind. Die Orientierung sollte vor allem auf solche Anwendungsbeispiele erfolgen, die anschließend behandelt werden oder die den Schülern aus ihrem Erfahrungsbereich bekannt sind (elektromagnetische Induktion, elektrische Leitungsvorgänge, Rundfunk- und Fernsehtechnik). Es kann auch auf Kenntnisse aus dem Unterricht in ESP zurückgegriffen werden.
Im Mittelpunkt der ersten Stunden steht das elektrostatische Feld. Bei der Begriffsklärung ist herauszuarbeiten, daß

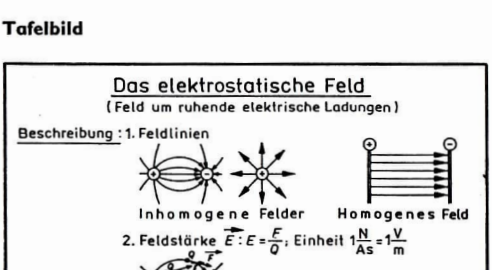
- um jede (ruhende oder bewegte) Ladung ein elektrisches Feld besteht (eine Bezeichnung, mit der erstmals M. Faraday den besonderen Zustand des Raumes um eine Ladung kennzeichnete);
- ein sich um ruhende elektrische Ladungen befindliches Feld als elektrostatisches Feld bezeichnet wird und
- ein wesentliches Merkmal des elektrostatischen Feldes darin besteht, daß auf einen sich in ihm befindlichen elektrisch geladenen Probekörper eine Kraft ausgeübt wird.

(2) Bei der Beschreibung elektrostatischer Felder erfolgt eine Beschränkung auf die Beschreibung durch Feldlinien und durch die Feldstärke.

Den Schülern werden verschiedene Feldlinienbilder in Erinnerung zurückgerufen (DE: PSV 6, V 5.2.3.). Diese Experimente sind zugleich ein Beleg für die mit geeigneten Hilfsmitteln nachweisbare Existenz eines elektrischen Feldes um geladene Körper. Nachfolgend ist zu unterstreichen, daß Feldlinien ein Modell für das Feld sind und nur einige wesentliche Seiten das real existierenden Feldes widerspiegeln.
Es ist zweckmäßig, diese Erkenntnis an mehreren Beispielen zu festigen (FO). Als zweite Beschreibungsmöglichkeit wird die punktweise Beschreibung des Feldes durch die elektrische Feldstärke wiederholt. Besonderer Wert ist auf eine anschauliche Interpretation der Definition zu legen.

(3) Abschließend informieren sich die Schüler im LB S. 42 bis 44 über die historische Entwicklung des Feldbegriffs. Sie stellen die wichtigsten Etappen der historischen Entwicklung des Feldbegriffs sowie die Fakten zusammen, die die objektive Existenz von Feldern belegen, und bereiten dazu Kurzvorträge vor (HA).

Tafelbild



a
b
c

Bild 59/1

2. Stunde: Kräfte auf elektrisch geladene Körper

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß Stoff und Feld Erscheinungsformen der Materie sind;
- kennen die feldbezogene und die körperbezogene Betrachtungsweise bei der Deutung von Kräften auf elektrisch geladene Körper und können diese unterschiedlichen Betrachtungsweisen anwenden;
- gelangen zu der Erkenntnis, daß beide Betrachtungsweisen ihre Berechtigung haben, in die feldbezogene Betrachtungsweise aber das real existierende Feld einbezogen ist;
- kennen das Coulombsche Gesetz.

Unterrichtsmittel

PSV 6, V 5.2.5.
V 5.2.7.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Feld und Stoff als Erscheinungsformen der Materie (W, Fst) **5 min**	Zusammentragen von Belegen für die objektiv reale Existenz von Feldern; Vergleichen von Stoff und Feld (K, UG)
Stoff und Feld existieren als Erscheinungsformen der Materie außerhalb und unabhängig von unserem Bewußtsein.	
(2) Feldbezogene und körperbezogene Betrachtungsweise (E) **10 min**	HA (K) Bewußtmachen des Wesens und der Bedeutung der beiden Betrachtungsweisen; Herstellen von Verbindungen zur historischen Entwicklung des Feldbegriffs (UG, TBa)
Bei der Deutung von Kräften auf elektrisch geladene Körper sind unterschiedliche Betrachtungsweisen möglich. Man unterscheidet feldbezogene und körperbezogene Betrachtungsweise. Die feldbezogene Betrachtungsweise ist der Realität besser angepaßt.	
(3) Coulombsches Gesetz (E, W) **20 min**	Untersuchen des Zusammenhangs (halbquantitativ) zwischen Kraft und Abstand zweier elektrisch geladener Körper (DE) Angeben und Interpretieren des Coulombschen Gesetzes (UG, TBb)
Für die Kraft zwischen zwei Punktladungen im Vakuum gilt das Coulombsche Gesetz $F = \frac{1}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$.	
(4) Anwendung der feldbezogenen und der körperbezogenen Betrachtungsweise (Fst) **10 min**	Lösen von Aufgaben unter Anwendung beider Betrachtungsweisen (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Anknüpfend an die historische Entwicklung des Feldbegriffs (Kontrolle der HA) werden die unterschiedlichen Betrachtungsweisen bei der Deutung von Kräften auf elektrisch geladene Körper erörtert. In den Mittelpunkt des Unterrichts ist die Klärung des Wesens der Betrachtungsweisen zu stellen; die Bezeichnungen (körperbezogen, feldbezogen) sind von untergeordneter Bedeutung. Es kann von der den Schülern bekannten Tatsache ausgegangen werden, daß zwischen zwei geladenen Körpern eine Kraft wirkt. Die Aufmerksamkeit ist bei dieser Betrachtungsweise auf die geladenen Körper gerichtet. Der Raum zwischen ihnen und damit das elektrische Feld bleiben unberücksichtigt (körperbezogene Betrach-

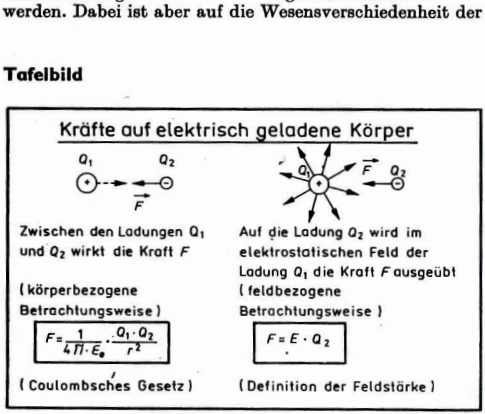
tungsweise). Die feldbezogene Betrachtungsweise schließt das real existierende Feld ein. Der Akzent liegt auf der Frage, welche Kraft auf einen geladenen Probekörper in einem Punkt eines Raumgebietes ausgeübt wird. Bei der Deutung der wirkenden Kräfte spielt der Zustand des Raumes — das Vorhandensein eines elektrischen Feldes — die entscheidende Rolle. Die Art der Felderzeugung ist von untergeordneter Bedeutung. Die Schüler müssen erkennen, daß die feldbezogene Betrachtungsweise, bei der der Raum mit dem real existierenden Feld in den Vordergrund gestellt wird, der Realität besser angepaßt ist. In der Elektrostatik sind beide Betrachtungsweisen anwendbar, in der Elektrodynamik dagegen ist die Anwendung der feldbezogenen Betrachtungsweise erforderlich.

(3) Im weiteren Ablauf der Stunde wird die körperbezogene Betrachtungsweise in den Vordergrund gerückt, und es werden die zwischen zwei geladenen Körpern wirkenden Kräfte untersucht. Dabei kann der Lehrer verschieden vorgehen. Eine Möglichkeit besteht darin, sofort auf die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Kraft und Abstand zweier elektrisch geladener Körper zu orientieren und nach Durchführung des DE entsprechend PSV 6, V 5.2.7., Teilversuch 2, oder PSV 6, V 5.2.5., das Coulombsche Gesetz zu geben. Eine andere Möglichkeit ist die, ausgehend vom Coulombschen Gesetz, den Zusammenhang zwischen Kraft und Abstand zu bestätigen. In jedem Falle sollte das Coulombsche Gesetz interpretiert werden. Die Schüler sind darauf hinzuweisen, daß es in der genannten Form (vgl. TB) nur unter folgenden Bedingungen gilt:

— Es sind Punktladungen vorhanden,
— die Ladungen befinden sich im Vakuum.

Es ist näherungsweise anwendbar, wenn die Abmessungen der geladenen Körper klein gegenüber ihrem Abstand sind und sich Luft zwischen ihnen befindet.
Auf die Analogie zum Gravitationsgesetz können die Schüler aufmerksam gemacht werden. Dabei ist aber auf die Wesensverschiedenheit der Kräfte hinzuweisen.

Tafelbild



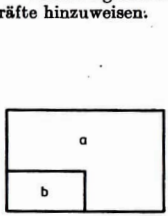


Bild 61/1

3. Stunde: Elektrostatisches Feld eines Plattenkondensators

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Definition der Spannung und die Gleichung zur Berechnung der Feldstärke in einem homogenen elektrostatischen Feld;
- gewinnen die Einsicht, daß die Begriffe elektrisches Feld und elektrische Spannung eng miteinander verknüpft sind;
- wissen, daß bei der Bewegung elektrisch geladener Teilchen im elektrischen Feld Arbeit aufgewendet wird, und können die Bewegung geladener Teilchen im homogenen elektrostatischen Feld charakterisieren;
- sind über das Prinzip der Bestimmung der Elementarladung nach Millikan informiert.

Unterrichtsmittel

PSV 6, V 5.2.8.
V 5.2.12.
PSV 11, V 3.3.1.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Elektrostatisches Feld im Inneren eines Plattenkondensators (W, E) **10 min**	Charakterisieren des elektrostatischen Feldes im Inneren eines Plattenkondensators. Ableiten der Gleichung $E = U/s$ (UG, TBa)
Im Inneren eines geladenen Plattenkondensators besteht ein homogenes elektrostatisches Feld. Die an allen Stellen konstante Feldstärke ist nur vom Abstand der Platten und von der zwischen ihnen anliegenden Spannung abhängig. Es gilt: $E = U/s$.	
(2) Zusammenhang zwischen Feldstärke und Spannung (E) **10 min**	Diskutieren des Gültigkeitsbereiches der Gleichung $E = U/s$ (UG) Bewußtmachen des engen Zusammenhangs zwischen den Begriffen elektrisches Feld und elektrische Spannung (LV, UG)
Zwischen beliebigen Punkten eines homogenen elektrostatischen Feldes, die nicht auf einer senkrecht zu den Feldlinien verlaufenden Fläche liegen, besteht eine elektrische Spannung.	
(3) Bewegung elektrisch geladener Teilchen im homogenen elektrischen Feld (E) **15 min**	Kennzeichnen und Begründen der Bewegungsart und Bahnform von elektrisch geladenen Teilchen im homogenen elektrischen Feld (SSA, TBb) Erörtern der Energieumwandlungen bei der Bewegung von geladenen Teilchen im Feld (UG, DE, TBb)
Wanderungsfähige elektrisch geladene Teilchen werden im homogenen elektrischen Feld gleichmäßig beschleunigt. Dabei wird Feldenergie in kinetische Energie umgewandelt.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(4) Millikan-Versuch (E) 10 min	Darstellen des Prinzips der Bestimmung der Elementarladung nach Millikan (LV, DE, TBc, d)
Die Elementarladung kann unter Nutzung der auf geladene Körper im elektrischen Feld wirkenden Kräfte ermittelt werden.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Der Lehrer orientiert die Schüler auf die genauere Untersuchung eines homogenen elektrischen Feldes als einer relativ einfach beschreibbaren, für die Praxis sehr wesentlichen Feldform. Die Betrachtungen sollten vorrangig am Beispiel des elektrostatischen Feldes eines Plattenkondensators durchgeführt werden. Zweckmäßig ist ein Hinweis darauf, daß z. B. auch in Leitern elektrische Felder bestehen können, zu deren Aufrechterhaltung allerdings ständige Energiezufuhr erforderlich ist. Bei der Herleitung der Gleichung $E = U/s$ ist insbesondere die Bedeutung der angestellten Überlegungen zur Arbeit für die elektrischen Leitungsvorgänge zu beachten (vgl. LB Leitungsvorgänge, S. 80 bis 81).

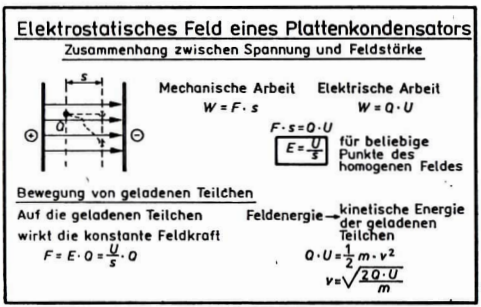
(2) Im weiteren Stundenverlauf wird der Gültigkeitsbereich der Gleichung $E = U/s$ erörtert und den Schülern der enge Zusammenhang zwischen den Begriffen elektrisches Feld und elektrische Spannung bewußtgemacht. Damit wird Wissen bereitgestellt, das bei der Behandlung elektrischer Leitungsvorgänge ständig benötigt wird.
Die für einen speziellen Fall hergeleitete Beziehung $E = U/s$ wird für beliebige Punkte eines homogenen Feldes verallgemeinert (vgl. TB). Auch an dieser Stelle ist es möglich, die Schüler auf die entsprechenden Verhältnisse bei einem Leiter hinzuweisen.

(3) Ausgehend von Beispielen aus der Praxis und dem Erfahrungsbereich der Schüler (elektrische Leitungsvorgänge, Elektronenstrahlröhren, Katodenstrahloszillograf, Beschleuniger u. a.) wird die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung der Bewegung von elektrisch geladenen Teilchen in elektrischen Feldern gelenkt. Dabei werden zwei Fragen in den Mittelpunkt gestellt: a) Wie bewegt sich ein elektrisch geladenes Teilchen in einem homogenen elektrostatischen Feld? b) Welche Energieumwandlungen gehen vor sich? Die erste Teilfrage können die Schüler auf der Grundlage der bisher erworbenen Kenntnisse weitgehend selbständig beantworten und ihre Aussagen begründen. Zur Festigung kann Aufg. 4 des LB S. 151 gelöst werden.
Bei den Energieumwandlungen erfolgt eine Konzentration auf den Fall, bei dem sich ein elektrisch geladenes Teilchen ($v_0 = 0$) unter dem Einfluß des Feldes bewegt. Die Gleichung zur Berechnung der Geschwindigkeit eines elektrisch geladenen Teilchens kann entsprechend der Lehrbuchdarstellung hergeleitet werden. Dabei ist besonders auf die Arbeit-Energie-Beziehung hinzuweisen.
Zur Veranschaulichung der beschleunigten Bewegung elektrisch geladener Teilchen im elektrostatischen Feld und der Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der anliegenden Spannung eignet sich ein DE entsprechend PSV 6, V 5.2.8., Teilversuch 2, Abb. 5.2.8./8.

(4) Anschließend wird den Schülern informatorisch das Prinzip der Bestimmung der Elementarladung nach Millikan erläutert. Zur Motivation dient der Sachver-

halt, daß sie damit ein historisch bedeutsames Verfahren zur Bestimmung einer mikrophysikalischen Größe kennenlernen. Das Prinzip der Bestimmung der Elementarladung kann durch Modellversuche (PSV 6, V 5.2.12. oder PSV 11, V 3.3.1.) veranschaulicht werden. Als HA eignen sich die Aufgaben 5 und 6, LB S. 151.

Tafelbild



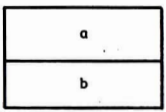
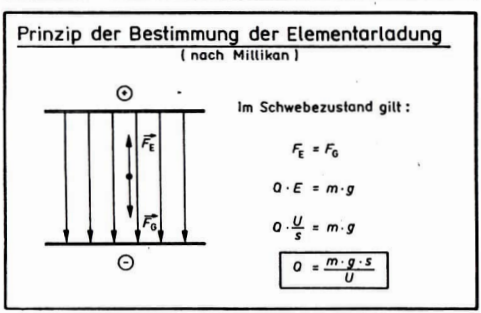


Bild 64/1



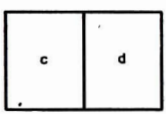


Bild 64/2

4. Stunde: Das magnetostatische Feld

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den Begriff und die Merkmale des magnetostatischen Feldes;
- wissen, daß bestimmte Probekörper und stromdurchflossene Leiter in magnetostatischen Feldern Kräften unterliegen;

— wissen, daß magnetostatische Felder mit dem Feldlinienmodell beschrieben werden können;
— können die Feldlinienbilder eines geraden stromdurchflossenen Leiters, einer Leiterschleife, einer Spule, eines Stabmagneten und eines Hufeisenmagneten zeichnen.

Es wird die Überzeugung der Schüler gefestigt, daß das magnetische Feld als bestimmte Form der Materie objektiv real existiert.

Unterrichtsmittel

DE 1, 2: Rasierklinge mit dünnem Faden, Pappblende (ca. 40 cm × 40 cm), Aluminiumblech (ca. 25 cm × 25 cm), Spule 750 Windungen, I-Kern, Stromversorgungsgerät (20 V —/4 A), (auch für DE 3,|4 und DE 6 bis 10), Stabmagnet und Hufeisenmagnet (auch für DE 5 bis 10).
DE 3, 4: 2 Aluminiumstreifen (z. B. aus Haushaltfolie geschnitten)
DE 5 : kleine Magnetnadel mit Ständer
DE 6 bis 10: Glasplatte (ca. 25 cm × 25 cm), Gerät zur Erzeugung des magnetischen Feldes, Eisenfeilspäne.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Das elektrostatische Feld (W, K) 10 min	Wiederholen der Merkmale des elektrostatischen Feldes, Zeichnen von elektrischen Feldlinienbildern Charakterisieren der Bewegung elektrisch geladener Teilchen im homogenen elektrischen Feld
(2) Kräfte in magnetostatischen Feldern (E) 15 min	Demonstrieren der Kraft, der ein Probekörper im magnetostatischen Feld unterliegt (DE 1, TB a) Auswertung der Ergebnisse (UG) Charakterisieren des magnetostatischen Feldes als bestimmte Form der objektiven Realität, Motivieren der Untersuchungen der folgenden Stunden, Wiederholen des Experiments mit einem Permanentmagneten (DE 2), Demonstrieren der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter (DE 3, TB b) und zwischen stromdurchflossenen Leitern (DE 4, TB c, LV), Beschreiben und Deuten der experimentellen Ergebnisse (SSA)
Bestimmte Probekörper und alle stromdurchflossenen Leiter unterliegen im magnetostatischen Feld einer Kraft.	

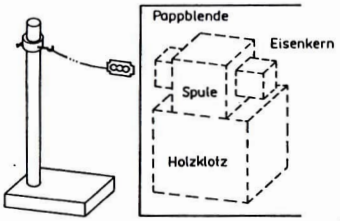
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Beschreibung magnetostatischer Felder mit dem Feldlinienmodell (E)	Bewußtmachen der Notwendigkeit, das magnetostatische Feld zu beschreiben (LV) Demonstrieren des Verlaufs einzelner Feldlinien (DE 5, TBd) Beschreiben und Zeichnen des prinzipiellen Verlaufs der Feldlinien (SSA)
Feldlinienbilder **20 min**	Ermitteln der Feldlinienbilder von Stabmagnet, Hufeisenmagnet, stromdurchflossenem Leiter, Leiterschleife und Spule (SDE 6 bis 10) Diskutieren der Feldlinienverläufe (SSA, TBe) Bewußtmachen der Notwendigkeit der quantitativen Beschreibung des magnetostatischen Feldes (LV, HA)
Das Feldlinienmodell ist zur Beschreibung magnetostatischer Felder geeignet. Feldlinienbilder ermöglichen Aussagen über die Richtung und die relative Größe der Kraft an beliebigen Orten des Feldes.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Im Einführungsexperiment wird der Elektromagnet verdeckt hinter einer Pappblende angeordnet. An die Spule mit 750 Wdg. wird eine Gleichspannung von 20 V gelegt. Der Faden mit der Rasierklinge wird gemäß Bild 67/1 an einem Stativ befestigt, so daß sie in etwa 2 cm Abstand vom Magnetpol schwebt. Der Nachweis, daß dieser Effekt nicht auf elektrische Kräfte zurückzuführen ist, erfolgt durch „Entladen" der Rasierklinge und Einführen der geerdeten Aluminiumplatte zwischen Klinge und verdecktem Versuchsaufbau. Erst durch Nähern eines (weiteren) Magneten ändert sich die Lage der Rasierklinge. Bei der Deutung der Untersuchungsergebnisse finden wiederholend die körper- und die feldbezogene Betrachtungsweise Anwendung. Danach wird die Pappblende entfernt.
Die Motivation erfolgt ausgehend von der Untersuchung des elektrischen Feldes unter Bewußtmachen der großen praktischen Bedeutung des magnetischen Feldes mit Ausblick auf die elektromagnetische Induktion.
Im 3. Experiment findet anstelle der Rasierklinge ein dünner, vertikal ausgespannter Aluminiumstreifen Verwendung. Er wird mit dem Elektromagneten in Reihe geschaltet. Im 4. Experiment werden 2 solcher Streifen parallel angeordnet (vgl. PSV 9, V 1.2.5.).
Um ein Beschädigen des Stromversorgungsgerätes zu vermeiden, sollte der Stromkreis nur kurzzeitig geschlossen werden. Da der Wechselspannungsbereich stärker überlastbar ist, empfiehlt es sich, dieses Teilexperiment mit Wechselspannung durchzuführen.
Bei der Deutung der experimentellen Ergebnisse sollte die feldbezogene Betrachtungsweise bewußt in den Vordergrund gerückt werden.

(3) Zur Demonstration des Verlaufs einzelner Feldlinien ist eine möglichst kleine Magnetnadel mit Ständer (PSV 9, V 1.2.3.) geeignet. Zur Bereitstellung des magnetischen Feldes dient der Hufeisenmagnet, der in geeigneter Höhe über der Schreibfläche des Projektors befestigt wird. Die Magnetnadel wird in die Höhe eines Poles gebracht und nachfolgend in kleinen Schritten in die Richtung vorwärts bewegt, in die sie jeweils zeigt. Noch besser ist eine magnetisierte Stricknadel (PSV 9, V 1.2.4.) geeignet, die in einer Glaswanne von ca. 25 cm Durchmesser schwimmt (Bild 67/2).

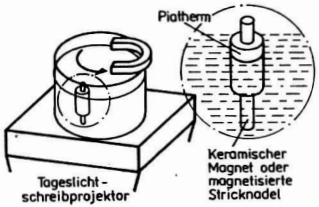
Bild 67/1



Versuchsanordnung beim Einführungs-experiment zum magnetostatischen Feld

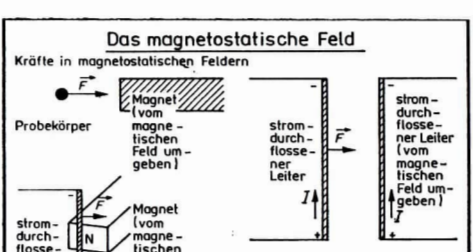
Sie bewegt sich „von selbst" längs der Feldlinie, die durch den jeweiligen Startpunkt geht.
Die Feldlinienverläufe werden auf der Projektionsfläche (Wandtafel) mitgezeichnet.
Die Schülerdemonstrationsexperimente sollten möglichst parallel aufgebaut und durchgeführt werden. Die übrigen Schüler zeichnen die ermittelten Feldlinienverläufe ins Heft. Experimentelle Hinweise werden in PSV 9, V 1.1.11., 1.1.12., 1.2.6., 1.2.9., 1.2.12. und 1.2.13. gegeben. In der Diskussion werden allgemeine Aussagen über den Feldlinienverlauf in den Vordergrund gerückt, Vorzüge und Grenzen des Feldlinienmodells charakterisiert.
Letztere machen die Notwendigkeit einer quantitativen Beschreibung bewußt. Sich anbietende Vergleiche zum Verlauf der elektrischen Feldlinien bleiben vor allem der HA vorbehalten. Die häusliche Wiederholung (HA) erfolgt auf der Grundlage des Lehrbuchtextes (S. 47 bis 49) unter Hinzuziehen der Aufgaben 1 und 2.

Bild 67/2



Untersuchung des Feldlinienverlaufs mittels eines schwimmenden Keramikmagneten

Tafelbild



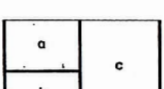
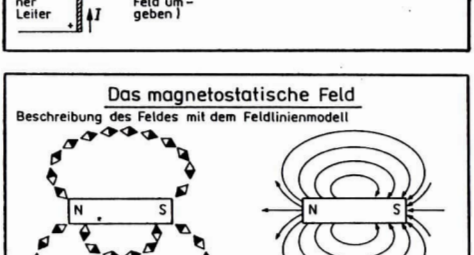


Bild 68/1



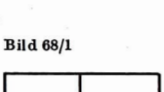


Bild 68/2

5. Stunde: Die magnetische Flußdichte

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die magnetische Flußdichte B und ihre Einheit 1 Tesla;
- wissen, daß die magnetische Flußdichte das magnetische Feld beschreibt;
- kennen die Definitionsgleichung für die magnetische Flußdichte.

Unterrichtsmittel

FO: Gegenüberstellung magnetostatisches Feld—elektrostatisches Feld (selbst gestaltet)

DE 1: Stromversorgungsgerät (20 V—/4 A), Hufeisenmagnet, 2 Holtzsche Klemmen, 3 dicke Stricknadeln, Schalter
DE 2: PSV 9, V 1.4.5.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Vergleich magnetostatischer und elektrostatischer Felder (K der HA) 10 min	Darstellen der Gemeinsamkeiten und Unterschiede magnetostatischer und elektrostatischer Felder bez. ihrer Entstehung, ihres Nachweises und der Feldlinienbilder (SSA)
(2) Gleichung für die magnetische Flußdichte im geraden Leiter (E) 25 min	Aufgreifen der Langzeitmotivation, Suchen nach einer geeigneten Möglichkeit zur Definition einer magnetischen Feldgröße (UG) Durchführen und Auswerten des Stricknadelversuchs (DE 1, UG) Beschreiben des Versuchsaufbaues (LV, TBa) und Durchführen des Experiments (DE 2) Gewinnen und Auswerten der Meßergebnisse (SSA, TBb) Definieren der magnetischen Flußdichte. Charakterisieren als Feldgröße, Markieren des Gültigkeitsbereichs (LV, TBc)
Die magnetische Flußdichte ermöglicht die quantitative Beschreibung des magnetischen Feldes. Ihre Definition beruht auf der Kraft, der ein gestreckter stromdurchflossener Leiter unterliegt, der senkrecht zu den magnetischen Feldlinien angeordnet ist. Dabei sind die Länge des Leiters und die Stromstärke zu berücksichtigen.	
(3) Einheit der magnetischen Flußdichte (E) 10 min	Einführen der Einheit für die magnetische Flußdichte, Verknüpfen mit anderen Einheiten, Vermitteln einer Vorstellung vom Betrag 1 Tesla (UG, HA, TBd)
Die Einheit der magnetischen Flußdichte ist 1 Tesla $1\ T = 1\ N \cdot A^{-1} \cdot m^{-1} = 1\ V \cdot s \cdot m^{-2}$	

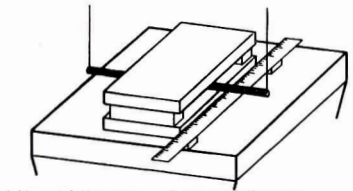
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die Kontrolle der HA dient einem ersten Gegenüberstellen des magnetostatischen und des elektrostatischen Feldes. Diese vergleichenden Betrachtungen, deren Ergebnisse auf der Folie ihren Niederschlag finden (FO), werden in der 7. Stunde vertiefend fortgesetzt.

(2) Ausgehend von ihren Kenntnissen bez. des elektrischen und magnetischen Feldes sollen die Schüler Meßmöglichkeiten für eine quantitative Beschreibung des magnetostatischen Feldes vorschlagen. Die Durchführung des Stricknadelversuchs erfolgt entsprechend Foto und Versuchsbeschreibung im LB. Wegen der Überlastung des Stromversorgungsgerätes bei einer Spannung von etwa 4 V bleibt der Schalter nur kurzzeitig geschlossen. Zur Untersuchung der Abhängigkeit der Kraft von der Länge des Leiters und der Stromstärke dient eine Anordnung gemäß PSV 9, V 1.4.5. Da die Stromstärke in den Helmholtzspulen nicht verändert wird, entfällt der eine Gleitwiderstand.

Bei Verwendung keramischer Magnete[1] läßt sich die Versuchsanordnung wesentlich vereinfachen (Bild 70/1). Der Stab der Leiterschaukel kann dabei eine konstante Länge von etwa 40 cm besitzen. Anstelle großer, plattenförmiger Magnete, z.B. der Abmessungen 125 mm × 80 mm × 18 mm, können auch zylinderförmige Manipermhaftplättchen beliebiger Größe Verwendung finden, die mit gleicher Lage der Pole dicht nebeneinander auf Glasplatten aufgeklebt werden. Zur Erzeugung eines weitgehend homogenen Magnetfeldes werden je 2 Platten so angeordnet, daß sich entgegengesetzte Pole gegenüberstehen. Als Distanzstücke dienen Holzleisten. Die Untersuchung der Abhängigkeit der Kraft von der wirksamen Länge des Leiters kann auf folgende einfache Art erfolgen: Zunächst findet nur ein Magnetplattenpaar Verwendung (z.B. mit 80 mm wirksamer Länge), danach zwei (160 mm wirksame Länge) und schließlich drei. Die Stärke des Magnetfeldes ist in allen Fällen die gleiche.

Bild 70/1



Untersuchung der Kraft, der ein stromdurchflossener Leiter in einem Magnetfeld unterliegt, mittels keramischer Magnete

Die jeweilige Auslenkung der Leiterschaukel kann jeweils am mitprojizierten Plastlineal abgelesen werden. Zuvor ist ein Nachführen der Magnetplatten notwendig, damit sich die Leiterschaukel zum Zeitpunkt der Ablesung im zentralen Bereich des Magnetfeldes befindet. Weitere experimentelle Möglichkeiten sind in PSV 9, V 1.4.6. und 1.4.7., beschrieben.

Die magnetische Flußdichte wird analog zur elektrischen Feldstärke als wichtige Feldgröße zur Beschreibung des magnetischen Feldes charakterisiert. Es wird, ausgehend von den Beschränkungen, die bei der Herleitung der Beziehung getroffen wurden, darauf hingewiesen, daß diese physikalische Größe zur Beschreibung aller (nicht nur homogener) Felder Verwendung findet.

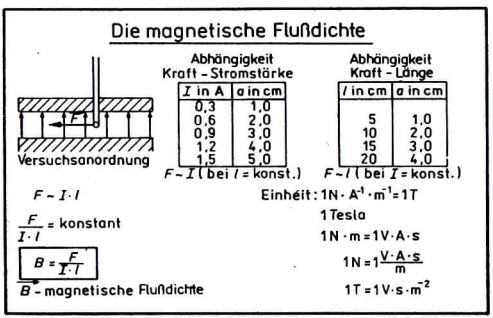
Zum Vermitteln einer Vorstellung von der Einheit der magnetischen Flußdichte kann z.B. das Nennen folgender Angaben beitragen:

- magnetische Flußdichte des Magnetfeldes der Erde in der DDR (Horizontalkomponente) $B_{hor} = 18 \cdot 10^{-6}$ T
- magnetische Flußdichte an der Oberfläche eines Manipermmagneten $B \approx 2 \cdot 10^{-1}$ T
- höchste magnetische Flußdichte in Motoren und Generatoren $B \approx 2$ T.

[1] zu beziehen vom VEB Keramische Werke Hermsdorf

(3) Als HA berechnen die Schüler die magnetische Flußdichte im Magnetfeld der verwendeten experimentellen Anordnung. Dazu wird ihnen die Kraft vorgegeben, die den maximalen Ausschlag der Leiterschaukel bewirkt. Sie läßt sich dadurch leicht abschätzen, daß man die Leiterschaukel von Hand weit auslenkt und mit einem empfindlichen Federkraftmesser die rücktreibende Kraft ermittelt.
Für die 8. Stunde wird ein Kurzvortrag zum Aufbau und zur prinzipiellen Wirkungsweise einer Fernsehbildröhre auf der Grundlage der Kenntnisse aus Klasse 9 unter Zuhilfenahme von Nachschlagewerken (Brockhaus ABC) vergeben.

Tafelbild



a	b
c	d

Bild 71/1

Folie Bild 71/2

	Magnetostatische Felder	Elektrostatische Felder
Gemeinsamkeiten	Sie existieren objektiv real. Sie sind räumlich ausgedehnt und i. a. nicht begrenzt. Auf geeignete Probekörper werden Kräfte ausgeübt. Sie lassen sich mit dem Feldlinienmodell beschreiben.	
Unterschiede	Alle magnetischen und magnetisierbaren Körper sowie bewegte Ladungen und stromdurchflossenen Leiter unterliegen einer Kraft.	Alle elektrisch geladenen sowie elektrisierbaren Körper unterliegen einer Kraft.
	Sie werden durch die Feldgröße „magnetische Flußdichte" beschrieben.	Sie werden durch die Feldgröße „elektrische Feldstärke" beschrieben.
	Es treten nur geschlossene Feldlinien auf. Beim Dauermagneten treten die Feldlinien in der Nähe des Nordpols aus und in der Nähe des Südpols wieder in den Magneten ein.	Die Feldlinien enden an den Ladungen. Sie treten senkrecht aus der Oberfläche des positiv geladenen Körpers aus und senkrecht zur Oberfläche in den negativ geladenen Körper ein.

6. Stunde: Das homogene Magnetfeld einer Spule

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, von welchen Größen die magnetische Flußdichte im Inneren einer Spule abhängt;
- kennen die Gleichung für die magnetische Flußdichte im Innern einer Spule;
- kennen die magnetische Feldkonstante und die relative Permeabilität;
- können die magnetische Flußdichte für das homogene Magnetfeld im Innern einer Spule berechnen.

Unterrichtsmittel

DE: Stromversorgungsgerät (20 V—/4 A), Spulen mit 125, 250, 500 und 1000 Windungen, Gleitwiderstand (15 Ω/5 A), Schalter, Demonstrationsstrommesser (1 A—, 10 A—), magnetischer Probekörper (selbst hergestellt), Federkraftmesser (3 N).

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Die magnetische Flußdichte und ihre Einheit (W, K, Fst) **10 min**	Beschreiben der Versuchsanordnung, Nennen der Untersuchungsergebnisse, Erläutern der Definitionsgleichung, Charakterisieren der Bedeutung der magnetischen Flußdichte, Nennen der Einheit und der Beziehungen zu anderen Einheiten (SSA)
(2) Die magnetische Flußdichte im homogenen Magnetfeld einer Spule (E) magnetische Feldkonstante und relative Permeabilität (E) **25 min**	Bewußtmachen der Notwendigkeit, die magnetische Flußdichte für wichtige Anordnungen berechnen zu können, Beschreiben des experimentellen Vorgehens (LV, TBa) Untersuchen der Abhängigkeit der magnetischen Flußdichte von Stromstärke, Windungszahl und Länge der Spule (DE, TBb) Auswerten der Meßergebnisse, Einführen der magnetischen Feldkonstante und der relativen Permeabilität (UG)

Für die magnetische Flußdichte im Innern einer Spule gilt die Gleichung

$$B = \mu_{rel} \cdot \mu_0 \cdot \frac{I \cdot N}{l}$$

Dabei ist $\mu_0 = 1{,}256 \cdot 10^{-6}\ V \cdot s \cdot A^{-1} \cdot m^{-1}$ die magnetische Feldkonstante. Die relative Permeabilität μ_{rel} gibt an, um welchen Faktor sich die magnetische Flußdichte erhöht, wenn sich statt des Vakuums ein Stoff in der Spule befindet.

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Berechnen der magnetischen Flußdichte in einer Spule (A) **10 min**	Ermitteln der Daten für eine Spule. Berechnen der magnetischen Flußdichte für den Fall, daß sich ein Eisenkern in der Spule befindet (SSA, HA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

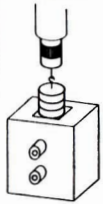
(1) In der Wiederholung wird überprüft, ob die Schüler die qualitativen und quantitativen Merkmale der magnetischen Flußdichte kennen. Beim Kontrollieren der ermittelten magnetischen Flußdichte wird auf den Einsatz der Helmholtzspulen in den folgenden Stunden hingewiesen (e/m-Bestimmung, Induktionsgesetz) und auf den dann erfolgenden Vergleich des hier experimentell ermittelten Wertes mit den dort aus den Spulendaten berechneten.

(2) Die skizzierte Anordnung (TB) ermöglicht es, die Abhängigkeiten ohne langwierige Messungen mit hinreichender Genauigkeit zu ermitteln. Der Probekörper wird durch Aufeinanderkleben zylinderförmiger keramischer Magnete hergestellt. Er soll etwa 2 cm Durchmesser und 4 cm Länge besitzen. Da sich der obere Teil des Magneten im inhomogenen Magnetfeld der Spule befindet, muß darauf geachtet werden, daß beim Ablesen jedes Teilergebnisses der Magnet gleich tief (etwa 1 cm) in die Spule eintaucht. Deshalb ist von Teilversuch zu Teilversuch ein Verstellen der Halterung des Federkraftmessers erforderlich. Die Veränderung der Länge der Spule bei gleicher Windungszahl erfolgt dadurch, daß mehrere Spulen geringerer Windungszahl in Reihe geschaltet werden (z.B. 1×1500, 2×750). Die Teilexperimente werden aufeinanderfolgend von mehreren Schülern durchgeführt.
In PSV 9 sind unter V 1.4.1. bis 1.4.3. und 1.4.8. weitere experimentelle Anordnungen beschrieben.
Bezüglich der Gleichung ist der Hinweis notwendig, daß l hier die Länge der Spule ist. In der Definitionsgleichung für die magnetische Flußdichte (vorangegangene Stunde) kennzeichnet l demgegenüber die Länge des Leiters im Magnetfeld.
Im Zusammenhang mit dem Mitteilen der relativen Permeabilität einiger Materialien wird der durch hohe Werte von μ_{rel} erzielte praktische Nutzen hervorgehoben. Weiterhin erfolgt der Hinweis, daß μ_{rel} für Eisen und andere magnetisierbare Stoffe keine Konstante darstellt, sondern sich mit dem Grad der Magnetisierung ändert.

(3) Das Beispiel vermittelt den Schülern eine Vorstellung von der Größenordnung der in den Experimenten und zahlreichen Anordnungen der Technik (z.B. Relais, Motoren, Transformatoren, Drosselspulen) auftretenden magnetischen Flußdichte. Die HA dient der Festigung des behandelten Stoffes (Durcharbeiten der Lehrbuchseiten 51 bis 53 und Lösen der Aufgaben 3 und 4) und der Berechnung der magnetischen Flußdichte in einem weiteren Beispiel.

Tafelbild

Das homogene Magnetfeld einer Spule



Abhängigkeit der magnetischen Flußdichte von der Windungszahl der Stromstärke der Länge

N	F in N
125	0,15
250	0,30
500	0,60
1000	1,20

I in A	F in N
1	0,40
2	0,80
3	1,20
4	1,60

l in cm	F in N
8	0,80
16	0,40
24	0,27

$B \sim N$ bei I, l = konst.

$B \sim I$ bei N, l = konst.

$B \sim \frac{1}{l}$ bei N, I = konst.

a	b

Bild 74/1

7. *Stunde*: *Stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld*

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Gleichung für die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld;
- werten die Ablenkung stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld als Beispiel für Kräfte auf Makroobjekte und wissen, daß sie eine große praktische Bedeutung besitzt;
- können die magnetische Flußdichte für bestimmte Anordnungen berechnen;
- kennen die Gemeinsamkeiten und Unterschiede des elektrischen und magnetischen Feldes bez. ihrer Entstehung, ihres Nachweises, ihrer Beschreibung mit dem Feldlinienmodell und mittels Feldgrößen.

Unterrichtsmittel

FO: Gegenüberstellung magnetostatisches Feld—elektrostatisches Feld (aus der 5. Stunde)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Vergleich magnetostatischer und elektrostatischer Felder (S, W, K) **20 min**	Bewußtmachen des Erkenntnisganges in den vorangegangenen Unterrichtsstunden mit Ausblick auf die Ziele dieser Stunde und der beiden folgenden (LV) Vervollständigen der Gegenüberstellung elektrostatisches und magnetostatisches Feld (UG)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Elektrostatische und magnetostatische Felder besitzen wichtige Gemeinsamkeiten und wesentliche Unterschiede.	
(2) Die Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld (E) 10 min	Umformen der Definitionsgleichung für die magnetische Induktion (TBa) Kennzeichnen des Gültigkeitsbereichs, Nennen und Erläutern praktischer Anwendungen, Charakterisieren der Bedeutung der Gleichung für die Kraft auf stromdurchflossene Leiter (SSA, TBb)
Aus der Gleichung für die magnetische Induktion folgt unmittelbar, daß die Kraft auf stromdurchflossene, gestreckte Leiter im Magnetfeld ihrer Länge, der Stromstärke und der magnetischen Flußdichte proportional ist. Diese Kraft findet in vielen Geräten Anwendung.	
(3) Berechnung der magnetischen Induktion und der Kräfte für einige Beispiele (Ü, A) 15 min	Lösen von Aufgaben zu praktischen Beispielen, vorheriges Abschätzen der jeweils erwarteten Ergebnisse (SSA, HA, TBc)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

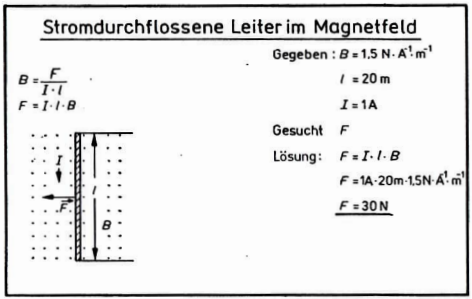
(1) Der einleitende Lehrervortrag geht vom Ziel der Unterrichtseinheit, der Untersuchung des magnetostatischen Feldes aus. Er ruft zunächst die vollzogenen Untersuchungsschritte ins Gedächtnis (Demonstration der Kräfte in Magnetfeldern, Beschreibung mit dem Feldlinienmodell, Heranziehen der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter zur Definition der Feldgröße magnetische Flußdichte, damit quantitative Beschreibung magnetostatischer Felder). Gleichzeitig gibt er einen Ausblick (praktische Bedeutung dieser Kraft, Betrachten des stromdurchflossenen Leiters als Makroobjekt, das im Magnetfeld einer Kraft unterliegt, Behandlung der Kraft auf bewegte Ladungen im Magnetfeld, Heranziehen dieser Kraft zur Erklärung der Ablenkung stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld). Die Gegenüberstellung magnetostatischer und elektrostatischer Felder wird fortgesetzt und dabei die in der 5. Stunde verwendete Folie vervollständigt.

(2) Die große praktische Bedeutung der Kraft, die im magnetostatischen Feld auf stromdurchflossene Leiter ausgeübt wird, wird am Beispiel des Motors und des Drehspulmeßwerks herausgearbeitet. Auf die Änderung der Kraftrichtung bei Umkehren der Stromrichtung wird verwiesen.

(3) U. a. wird folgende Aufgabe gelöst (siehe TB):

Im Anker eines Motors beträgt die magnetische Flußdichte 1,5 T. Die jeweils stromdurchflossene Ankerwicklung hat 100 Windungen mit einer wirksamen Länge von je 2×10 cm. Wie groß ist die Kraft bei einer Ankerstromstärke von 1 A? Als HA lösen die Schüler u. a. die Aufgabe 2 im LB S. 152 und rechnen ein weiteres Beispiel zur Kraft, der ein Leiter unter bestimmten Bedingungen unterliegt (z.B. die Spule eines Drehspulmeßwerks mit 50 Windungen, die sich in einem Magnetfeld von 0,5 T befindet und von einem Strom von 1 mA durchflossen wird).

Tafelbild



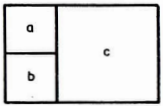


Bild 76/1

8. Stunde: Die Lorentzkraft

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Gleichung für die Lorentzkraft und wissen, daß sie nur unter der Bedingung der Orthogonalität der Vektoren Kraft, magnetische Flußdichte und Geschwindigkeit gilt:
- können die Ablenkung bewegter Ladungsträger und stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld mit Hilfe der Lorentzkraft erklären;
- werten die Ablenkung bewegter Ladungsträger im Magnetfeld als Beispiel für Kräfte auf Mikroobjekte.

Unterrichtsmittel

DE 1, 2: Braunsche Röhre mit geheizter Katode mit Halterung, 2 große Kera mik magnete (möglichst plattenförmig), Stromversorgungsgerät (400 V— 50 V—, 6,3 V~) (auch für DE 3)

DE 3: 2 Spulen (1500 Windungen), 2 I-Kerne, Demonstrationsstrommesser (1 A—), Akkumulator 6 V

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Aufbau und Wirkungsweise einer Fernsehbildröhre Ablenkung bewegter Ladungen im Magnetfeld (E) 15 min	Beschreiben des Aufbaus und der prinzipiellen Wirkungsweise einer Fernsehbildröhre (SV), Demonstrieren der Ablenkung bewegter Ladungsträger im Magnetfeld (DE 1), Auswerten des Experiments (UG, TBa) Demonstrieren der Richtungsabhängigkeit der Ablenkung (DE 2, TBb)
Bewegte Ladungen unterliegen im magnetostatischen Feld einer Kraft. Diese ist senkrecht zur Bewegungsrichtung und zur Richtung der magnetischen Feldlinien gerichtet. Diese Kraft führt zu einer Änderung der Bewegungsrichtung der Ladungen.	
(2) Die Lorentzkraft Die Gleichung für die Lorentzkraft (E) 15 min	Erarbeiten von Vermutungen bezüglich der physikalischen Größen, die auf die ablenkende Kraft Einfluß haben (SSA, TBc) Experimentelle Prüfung der vermuteten Beziehung zwischen ablenkender Kraft und magnetischer Flußdichte (DE 3) Bekanntmachen mit der Gleichung und ihrem Gültigkeitsbereich. Vergleichen des experimentellen Ergebnisses mit der Gleichung (UG, TBd)
Zwischen der magnetischen Flußdichte, der Geschwindigkeit und der Kraft bestehen gesetzmäßige Richtungsbeziehungen. Eine einfache Beschreibung ist nur dann möglich, wenn alle drei Größen aufeinander senkrecht stehen. Dann gilt $F = e \cdot v \cdot B$.	
(3) Die Bedeutung der Lorentzkraft (Fst, A) 15 min	Erklären der Ablenkung stromdurchflossener Leiter mit Hilfe der Lorentzkraft, Vergleichen der Gleichungen für die Lorentzkraft und für die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld. Charakterisieren der Bedeutung der Lorentzkraft, Hinweis auf die Teilchenbeschleuniger (LV, HA, TBe)
Die Ablenkung stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld ist mit der Lorentzkraft zu erklären. Die Lorentzkraft findet in zahlreichen Geräten Anwendung.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

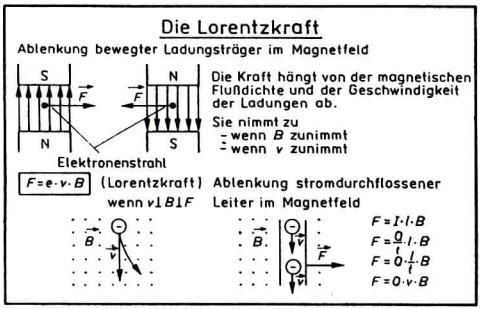
(1) Der Schülervortrag soll vor allem auf die Verwendung schneller Elektronen im Vakuum und ihre Richtungsänderung durch das magnetische Ablenkungssystem orientieren. Im Experiment werden die Magnete rechts und links neben die Braunsche Röhre gehalten, so daß die vertikale Ablenkung deutlich erkennbar ist. Ein Vertauschen der Pole führt zur Richtungsänderung der Ablenkung. Der Lehrer macht in der Auswertung der Experimente deutlich, daß im magnetostatischen Feld nur die Richtung der Geschwindigkeit, nicht ihr Betrag geändert wird. Diese Aussage wird mit der Beeinflussung der Ladungen im elektrostatischen Feld verglichen.

(2) Bei der Suche nach Abhängigkeiten stützen sich die Schüler auf ihre Kenntnisse aus der Klasse 9 sowie die experimentellen Ergebnisse der vorangegangenen Stun-

den, insbesondere bez. der Ablenkung stromdurchflossener Leiter. Diese Vorkenntnisse ermöglichen sowohl die Benennung der physikalischen Größen, von denen die Kraft abhängt, als auch die Formulierung der Abhängigkeiten in der Form: je größer ... , desto größer ist die ablenkende Kraft.
Im 3. Experiment werden die Keramikmagnete durch Spulen mit Eisenkernen ersetzt (Polung beachten!), die über den Strommesser mit dem Akkumulator verbunden sind. Durch Stellen am Stufenschalter wird die Stromstärke (magnetische Flußdichte) schrittweise erhöht. Damit nimmt die Ablenkung des Elektronenstrahls zu. Die Veränderung der Geschwindigkeit der Ladungen erfolgt durch Variieren der Beschleunigungsspannung. Da jedoch die kinetische Energie der Elektronen mit dem Quadrat der Geschwindigkeit zunimmt, beeinflußt eine Veränderung der Beschleunigungsspannung den Elektronenstrahl nur geringfügig. Es sollte deshalb mit möglichst großen Ablenkungen des Elektronenstrahls gearbeitet werden, um zu einem überzeugenden Ergebnis zu gelangen.

(3) Beim Kennzeichnen der Bedeutung der Lorentzkraft weist der Lehrer darauf hin, daß bei den praktischen Anwendungen statt der Ladung e in der Regel die Ladung Q in die Gleichung eingeht. Nach kurzem Charakterisieren des Wesentlichen der Zirkularbeschleuniger erfolgt über den MHD-Generator der Ausblick auf die Induktionserscheinungen, die sich ebenfalls teilweise mit der Lorentzkraft erklären lassen. Neben der Wiederholung der Erkenntnisse bezüglich der Lorentzkraft (LB S. 53 bis 54 und Aufgabe 5) lösen die Schüler zu Hause eine Aufgabe zur Berechnung der Lorentzkraft.

Tafelbild



a	b	c
d		e

Bild 78/1

9. Stunde: Die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons

Stundenziele

Die Schüler

— wissen, daß auf der Grundlage der Gleichung für die Lorentzkraft die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons möglich ist;

— kennen die Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons nach Schuster;
— können die spezifische Ladung des Elektrons aus den experimentellen Ergebnissen berechnen.

Unterrichtsmittel

FO: Wichtige Beziehungen im elektrostatischen und magnetostatischen Feld (selbst hergestellt)
DE: PSV 11, V 3.2.1.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Wichtige Beziehungen im elektrostatischen und im magnetostatischen Feld Die Lorentzkraft (W, Fst, K) **15 min**	Zusammenstellen wichtiger Beziehungen, Gültigkeitsbereich der Gleichung für die Lorentzkraft. Beschreiben von Anwendungen, Berechnen der Lorentzkraft an einem Beispiel, Erklären der Ablenkung stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld infolge der Lorentzkraft (SSA)
(2) Die Gleichung für die spezifische Ladung des Elektrons (E) **10 min**	Vorstellen der Versuchsanordnung zur e/m-Bestimmung, Herleiten der Gleichung (LV, SSA, TBa) Charakterisieren der spezifischen Ladung des Elektrons (LV)
Die Ablenkung von Elektronen im magnetostatischen Feld ermöglicht es, die spezifische Ladung e/m des Elektrons zu bestimmen.	
(3) Experimentelle Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons (E) **20 min**	Erläutern der Versuchsanordnung und Versuchsdurchführung (LV, DE, TBb) Berechnen der spezifischen Ladung des Elektrons, Diskutieren der Fehlerquellen (SSA, TBc) Charakterisieren des Verfahrens als einfache, präzise Möglichkeit zur Bestimmung einer wichtigen Naturkonstante, Hinweisen auf die Möglichkeit, unter Verwendung des Ergebnisses vom Millikan-Versuch die Masse des Elektrons zu bestimmen (LV, HA)
Die spezifische Ladung des ruhenden Elektrons beträgt $e/m = 1{,}75 \cdot 10^{11}\ \mathrm{C \cdot kg^{-1}}$. Sie ist eine wichtige Naturkonstante, die sich aus der Ablenkung eines Elektronenstrahls im magnetostatischen Feld bestimmen läßt, wenn die Elektronengeschwindigkeit viel kleiner als die Lichtgeschwindigkeit ist.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) In den vorangegangenen Stunden wurden folgende wichtige Beziehungen, die sich die Schüler einprägen sollten, erarbeitet:

— Definitionsgleichung für die elektrische Feldstärke,
— Definitionsgleichung für die elektrische Spannung,
— Coulombsches Gesetz,

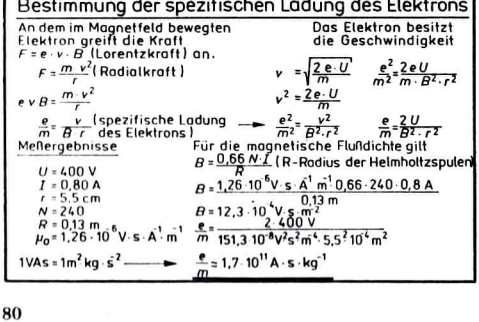
— Definitionsgleichung für die magnetische Flußdichte,
— Gleichung für die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im magnetostatischen Feld,
— Gleichung für die magnetische Flußdichte im homogenen Magnetfeld einer Spule,
— Gleichung für die Lorentzkraft.

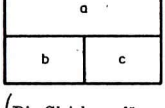
Sie werden eingangs zusammengestellt. Das kann auch in Form einer Kurzarbeit geschehen.
Im weiteren Verlauf der Wiederholung werden wichtige Inhalte der beiden vorangegangenen Stunden zusammengefaßt.

(2) Das Vorstellen der Versuchsanordnung dient dem Vertrautmachen mit der Apparatur als Grundlage für die Bereitstellung der erforderlichen Gleichungen. In einem Vorversuch wird den Schülern der Weg des Elektronenbündels und die Zunahme seiner Krümmung bei wachsender magnetischer Flußdichte bis zum geschlossenen Kreisring gezeigt. Es erfolgt der Hinweis, daß der Gasdruck so gewählt ist, daß einerseits die Elektronen möglichst wenig in ihrer Bewegung behindert werden, andererseits infolge ihrer Stöße mit den Gasteilchen der Weg des Elektronenbündels sichtbar wird. Die Schritte bei der Herleitung der Gleichung werden vom Lehrer angedeutet und danach von den Schülern selbständig ausgeführt. Es muß zum Können der Schüler gehören, diese Herleitung vorzunehmen. Ihnen muß bewußt werden, daß die Lorentzkraft als Radialkraft fungiert, welche die Elektronen auf eine Kreisbahn zwingt. Deshalb erfolgt das Gleichsetzen der Kräfte.

(3) Die Durchführung des Experiments erfolgt auf der Grundlage der Anleitung in PSV 11, V 3.2.1. Dort werden auch Hinweise für die Ermittlung der magnetischen Flußdichte gegeben sowie auf den folgenden Seiten andere experimentelle Möglichkeiten vorgestellt. Auf diese sollte u. a. dann zurückgegriffen werden, wenn keine ausreichende Abdunkelung des Raumes möglich ist.
Als HA berechnen die Schüler die Geschwindigkeit des Elektrons und seine Masse.

Tafelbild





(Die Gleichung für B muß heißen: $B = \mu_0 \frac{0{,}66 \cdot N \cdot I}{R}$)

Bild 80/1

10. Stunde: Die Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld

Stundenziele

Die Schüler

- können die Induktionsvorgänge im zeitlich konstanten Magnetfeld von den Induktionsvorgängen im zeitlich veränderlichen Magnetfeld unterscheiden;
- erkennen, daß im Falle eines zeitlich konstanten Magnetfeldes die Relativbewegung zwischen Leiter und Magnetfeld eine notwendige Voraussetzung für das Auftreten einer Induktionsspannung ist;
- kennen die Bedingungen für die Erzeugung einer Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld und die Beziehung zwischen der Induktionsspannung und der zeitlichen Änderung der wirksamen Fläche;
- wissen, daß mit Hilfe der Lorentzkraft das Auftreten einer Induktionsspannung in einem Leiter, der relativ zu einem magnetischen Feld bewegt wird, erklärt werden kann.

Unterrichtsmittel

FO: Prinzipskizzen wesentlicher experimenteller Anordnungen zur Erzeugung einer Induktionsspannung (selbst hergestellt)

DE 1, 2: Stromversorgungsgerät (0—20 V/4 A), Spulen unterschiedlicher Windungsanzahl, geblätterte Eisenkerne, Stab- und Hufeisenmagnet, Schalter, Gleitwiderstand (15 Ω/5 A), Demonstrationsstrommesser (1 A—, 10 A—), Demonstrationsspannungsmesser ($\leqq$ 100 mV—)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Langzeitmotivation: Untersuchung der engen Verknüpfung des elektrischen und des magnetischen Feldes Induktion von Spannungen (W) **20 min**	Motivieren der Untersuchungen im gesamten Stoffabschnitt sowie in den ersten Unterrichtsstunden (LV) Vermitteln eines Einblicks in die Vielfalt von experimentellen Anordnungen und die Verschiedenartigkeit der Bedingungen, bei denen eine Induktionsspannung auftritt (LV mit DE 1, 2)
Bei der Relativbewegung von Leiter und Magnetfeld und bei der zeitlichen Änderung des Magnetfeldes können Induktionsspannungen auftreten.	
(2) Bedingungen für das Auftreten einer Induktionsspannung (E) **10 min**	Systematisieren der Experimente: Einteilung in Anordnungen mit zeitlich konstantem und zeitlich veränderlichem Magnetfeld, Herausarbeiten der Bedingungen für das Auftreten einer Induktionsspannung (UG, TBa)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Im zeitlich konstanten Magnetfeld ist die Relativbewegung zwischen Leiter und Magnetfeld eine notwendige Voraussetzung für das Auftreten einer Induktionsspannung. Im ruhenden Leiter ist eine zeitliche Änderung des Magnetfeldes eine notwendige Voraussetzung.	
(3) Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld (E) 15 min	Diskutieren der Bedingungen für das Auftreten einer Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld, Erklären des Induktionsvorganges (qualitativ) in einem gestreckten Leiter auf der Grundlage der Lorentzkraft (SSA, TB b) Herleiten der Beziehung $U_{ind} \sim dA/dt$ bei $B = \text{konst} \neq 0$ ausgehend von der Lorentzkraft, Hinweisen auf A als wirksame Fläche und deren Berechnung (LV, HA, TB c)
Ein häufiger Fall der elektromagnetischen Induktion liegt vor, wenn sich die wirksame Fläche ändert. Die auf diese Weise erzeugte Induktionsspannung ist um so größer, je rascher die Änderung dieser Fläche erfolgt.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Grundlage der Untersuchungen ist eine Folge von Experimenten. Sie dient der Wiederholung, Ergänzung und Systematisierung. Dazu werden besonders einfache Versuchsanordnungen, in denen das Wesentliche deutlich ins Auge fällt, ausgewählt (LB S. 58 bis 59, PSV 9, V 2.1.1. bis V 2.1.7.). Die in Abb. 2.1.1./1c angegebene Anordnung ist infolge mangelnder Kontakte weniger gut funktionstüchtig. Zur Bereitstellung eines ausgedehnten homogenen magnetischen Feldes empfiehlt sich die Verwendung großer keramischer Magnete. Um mit geringen Geschwindigkeiten arbeiten zu können, sollte ein Spannungsmesser mit Verstärker Verwendung finden.
Die Experimente kommen entweder in systematischer Folge, z. B. entsprechend den Lehrbuchabbildungen, oder in Gruppen geordnet zum Einsatz. Nur bei guten Vorkenntnissen der Schüler ist eine ungeordnete Folge vertretbar. Zur Deutung der experimentellen Ergebnisse kann auf einige der Aufgaben 1 bis 11 im LB S. 59 zurückgegriffen werden.
Es wird empfohlen, Zwischenauswertungen nicht nach jedem einzelnen Experiment vorzunehmen, sondern jeweils nach einer Versuchsgruppe, wodurch Vergleiche besser möglich werden. Dabei wirken sich die Prinzipskizzen auf der Folie förderlich aus, die ähnlich den Lehrbuchabbildungen gestaltet sind. Sie können z. B. durch Abklappen von Blenden nacheinander freigegeben werden. Im Sinne von Parallelexperimenten ist anzustreben, daß mehrere experimentelle Anordnungen nebeneinander auf dem Experimentiertisch stehen.

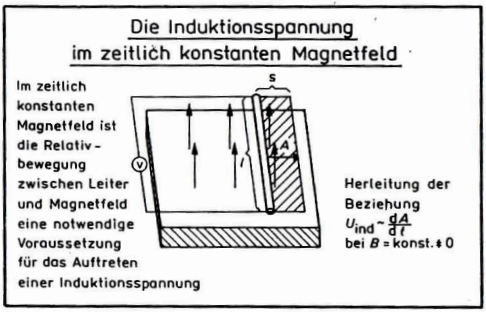
(2) Es werden 2 Gruppen von Experimenten unterschieden, solche mit zeitlich konstantem und solche mit zeitlich veränderlichem Magnetfeld. Die Schüler arbeiten die grundlegenden Voraussetzungen für das Auftreten einer Induktionsspannung in beiden Gruppen heraus.

(3) Die Bedingungen für das Entstehen einer Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld werden näher analysiert. Vom Induktionsgesetz aus Klasse 9 ausgehend, wird die Beziehung zwischen der Induktionsspannung und der Flächen-

änderung erarbeitet. Dabei wird zunächst von einer rotierenden Leiterschleife ausgegangen. Dann wird ein Leiterstück betrachtet, das sich im Magnetfeld quer zu den Feldlinien bewegt (analog der Darstellung im LB S. 60). Danach folgen qualitativ die hiermit in untrennbarem Zusammenhang stehenden Betrachtungen zur wirksamen Fläche.

Den Schülern wird bewußt gemacht, daß die Lorentzkraft einen einfachen Zugang zur quantitativen Behandlung der elektromagnetischen Induktion ermöglicht. Sie sollten aber auch bereits darauf hingewiesen werden, daß nicht alle Induktionserscheinungen mit der Lorentzkraft erklärt werden können und daß sie in den folgenden Stunden einen Einblick in eine umfassende Theorie (die Maxwellsche Theorie) erhalten werden. Zu Hause arbeiten die Schüler die Beschreibungen der Experimente und ihre Auswertungen im LB S. 58 bis 59 durch. Dabei werden weitere der Aufgaben 1 bis 11 im LB S. 59 und 1 und 2, LB S. 63, gestellt. Die Schüler sollen sich weiterhin die Herleitung der Beziehung zwischen Induktionsspannung und zeitlicher Änderung der Windungsfläche einprägen.

Tafelbild



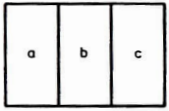


Bild 83/1

11. Stunde: Die Induktionsspannung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen, daß ohne Relativbewegung zwischen Leiter und Magnetfeld die zeitliche Änderung der magnetischen Induktion in der Leiterschleife eine notwendige Voraussetzung für das Auftreten einer Induktionsspannung ist;
- kennen die Bedingungen für das Auftreten einer Induktionsspannung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld und die Beziehung zwischen der Induktionsspannung und der zeitlichen Änderung der magnetischen Flußdichte;

— können wesentliche Merkmale des Induktionsvorganges im zeitlich veränderlichen Magnetfeld erläutern. Dabei ist ihnen bewußt, daß das Auftreten einer Induktionsspannung in diesem Falle nicht mit Hilfe der Lorentzkraft erklärt werden kann.

Unterrichtsmittel

FO: Prinzipskizzen wesentlicher experimenteller Anordnungen zur Erzeugung einer Induktionsspannung (wie in Stunde 10)
DE: Rahmenspule (vom Gerät zur Messung in elektrischen und magnetischen Feldern), große Polfläche aus keramischen Magneten (selbst hergestellt), Demonstrationsspannungsmesser (≤ 100 mV—).

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Erzeugen einer Induktionsspannung im zeitlich konstanten und zeitlich veränderlichen Magnetfeld (W) **15 min**	Nennen und Erläutern der Bedingungen für das Auftreten einer Induktionsspannung, Herleiten der Beziehung für die Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld (SSA, DE, TBa) HA (K)
(2) Wirksame Fläche (E) **15 min**	Angeben der Beziehung für die wirksame Fläche (LV, TBb) Erläutern von Beispielen (SSA, HA_1)
Verlaufen die magnetischen Feldlinien nicht senkrecht zur Fläche der Leiterschleife, so wird nur die Projektion dieser Fläche auf eine senkrecht zu den Feldlinien verlaufende Ebene wirksam. Im Falle einer Spule vergrößert sich die wirksame Fläche entsprechend der Anzahl der Windungen.	
(3) Induktionsspannung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld (E) **15 min**	Herleiten der Beziehung $U_{ind} \sim dB/dt$ bei $A = \text{konst} \neq 0$ (UG, HA_2, TBc)
Ändert sich die magnetische Flußdichte in einer Spule mit konstanter, wirksamer Fläche, so ist die Induktionsspannung der Änderungsgeschwindigkeit proportional.	

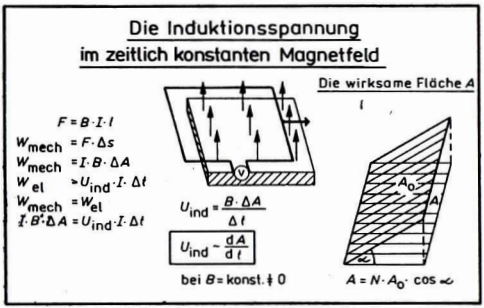
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Bei der Wiederholung wird der Erzeugung einer Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld und der Möglichkeit der Erklärung ihres Zustandekommens mit der Lorentzkraft besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Es erfolgt ein Vergleich mit den in Klasse 9 gewonnenen Erkenntnissen. Am Beispiel der Bewegung einer Rahmenspule durch ein ausgedehntes homogenes Magnetfeld (vgl. LB S. 62) erfolgt eine Zusammenfassung. Die Polfläche läßt sich leicht durch Aufkleben keramischer Magnete mittels Duosan oder Cenusil auf eine feste Unterlage (Glas, Plast, Holz) herstellen. Dabei ist darauf zu achten, daß die Magnete möglichst eng aneinander angrenzen und jeweils gleiche Pole nach oben bzw. unten gerichtet sind.

(2) Die Untersuchungen zur Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld werden durch quantitative Betrachtungen zur wirksamen Fläche vervollständigt. Ausgangspunkt ist dabei die technisch bedeutsame Rotation einer Spule im homogenen Magnetfeld. Als HA wird die Aufgabe 3 im LB S. 63 gestellt.

(3) Die Beziehung zwischen Induktionsspannung und zeitlicher Änderung der magnetischen Flußdichte wird, ausgehend von den Experimenten in der 10. Stunde, analog der Darstellung im LB S. 63 hergeleitet. Beim Versuch, das Auftreten der Induktionsspannung auf der Grundlage der Lorentzkraft zu erklären, erkennen die Schüler, daß diese in den Fällen, in denen keine Relativbewegung zwischen Leiter und Magnetfeld vorliegt, nicht möglich ist. Als HA ist weiterhin die Aufgabe 5 im LB S. 63 zu lösen.

Tafelbild



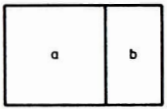
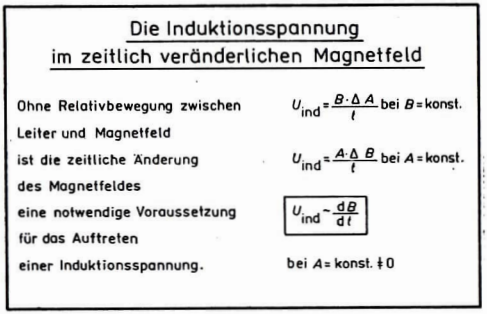
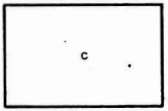


Bild 85/1





(In den beiden oberen Gleichungen muß anstelle t stehen: Δt)

Bild 85/2

Stundenziele

Die Schüler

- kennen das Induktionsgesetz, können es interpretieren und anwenden;
- kennen die Beziehung für den magnetischen Fluß;
- können Demonstrationsexperimente zur Veranschaulichung des Induktionsgesetzes selbständig planen und durchführen;
- können den Zusammenhang zwischen dem Lenzschen Gesetz und dem Energieerhaltungssatz erläutern.

Es wird die Einsicht der Schüler vertieft, daß zwischen elektrischen und magnetischen Erscheinungen ein enger Zusammenhang besteht.

Unterrichtsmittel

DE 1, 2, 3: wie 10. Stunde und 11. Stunde (DE), Induktionsgerät mit Zubehör,
DE 4: PSV 9, V 2.1.8.
DE 5: PSV 9, V 2.4.1.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Induktionsspannung im zeitlich konstanten und zeitlich veränderlichen Magnetfeld (W) **5 min**	Zusammenstellen der experimentellen Ergebnisse und der gewonnenen Beziehungen für die Induktionsspannung (SSA) HA (K)
(2) Das Induktionsgesetz Der magnetische Fluß Veranschaulichung des Induktionsgesetzes (E) **25 min**	Herleiten des Induktionsgesetzes (LV, TBa) Einführen des magnetischen Flusses (LV, TBb) Planen und Durchführen von Experimenten zur Veranschaulichung des Induktionsgesetzes (SSA, DE 1, 2, 3)
Die Induktionsspannung ist der Geschwindigkeit, mit der sich der die Spule durchsetzende magnetische Fluß ändert, proportional. Der magnetische Fluß ist das Produkt aus der magnetischen Flußdichte und der wirksamen Fläche.	
(3) Das Lenzsche Gesetz (W, Fst, S) **10 min**	Erläutern des Lenzschen Gesetzes und des Zusammenhanges zwischen dem Lenzschen Gesetz und dem Energieerhaltungssatz (SSA, DE 4, DE 5, TBc)
Das Lenzsche Gesetz ist ein Spezialfall des Energieerhaltungssatzes. Der durch die Induktionsspannung hervorgerufene Strom ist stets so gerichtet, daß er den Vorgang, der ihn hervorruft, hemmt.	
(4) Anwendungen der elektromagnetischen Induktion (A, Fst) **5 min**	Aufzeigen von weiteren Anwendungsbeispielen der Induktion, Stellen von Aufgaben zu den Induktionsvorgängen (UG, HA)

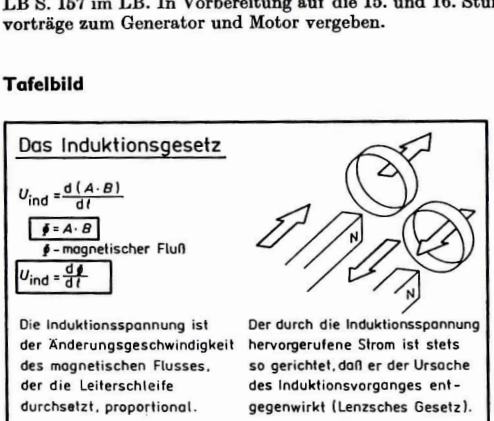
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Es wird die Allgemeingültigkeit des Induktionsgesetzes für Induktionsvorgänge unterstrichen (vgl. Hinweis in der 10. Stunde). Danach werden die von den Schülern vorgeschlagenen experimentellen Anordnungen besprochen. Ausgehend von den Aufgaben 4 im LB S. 63 und 2, LB S. 65, unterbreiten die Schüler weitere Vorschläge für Versuchsanordnungen. Dabei ist es ratsam, daß sich der Lehrer einen Überblick über alle von den Schülern geplanten Experimentieranordnungen verschafft, um für die laufende Unterrichtsstunde nur einige derjenigen für die Realisierung vorzusehen, für die die experimentellen Mittel bereitstehen. Für weitere Experimente kann er dann zielgerichtet die Geräte für die folgenden Stunden auswählen. Dadurch läßt sich ggf. der Umfang der angegebenen Unterrichtsmittel reduzieren. Nachfolgend erhalten einige Schüler den Auftrag, die von ihnen entworfenen Anordnungen selbständig zusammenzustellen und aufeinanderfolgend vorzuführen. Wenig geeignete oder falsche Vorschläge der übrigen Schüler werden in der Zeit korrigiert, in der die ausgewählten Schüler ihre Anordnungen zusammenstellen.

(3) Die wiederholenden und vertiefenden Betrachtungen zum Lenzschen Gesetz erfolgen, ausgehend vom im LB auf S. 67 skizzierten Experiment, mit dem bifilar aufgehängten Ring. Die Entscheidung, ob detaillierte Betrachtungen zur Richtung des Induktionsstromes angestellt werden oder nicht, sollte ausgehend vom Leistungsvermögen der Klasse getroffen werden. Da dieser Zusammenhang bei der Behandlung des Generators und Motors in der 15. und 16. Stunde weiter untersucht wird, ist es an dieser Stelle möglich, analog zu der Darstellung im LB darauf zu verzichten. In jedem Falle sollte angestrebt werden, das Waltenhofensche Pendel in den Mittelpunkt der Betrachtungen zu stellen.

(4) Als HA wiederholen die Schüler alle wesentlichen Erkenntnisse bezüglich der elektromagnetischen Induktion. Zur Akzentuierung sind die Aufgaben 1 und 3 im LB S. 65 geeignet. Zur übernächsten Stunde lösen die Schüler die Aufgaben 1 und 2, LB S. 157 im LB. In Vorbereitung auf die 15. und 16. Stunde werden die Schülervorträge zum Generator und Motor vergeben.

Tafelbild



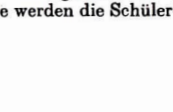


Bild 87/1

13. Stunde: Die Induktivität einer Spule

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Gleichung für die Induktivität einer Spule und die Einheit der Induktivität und können Induktivitäten berechnen;
- kennen den Stromverlauf beim Öffnen bzw. Schließen eines Gleichstromkreises mit Spule;
- können Vorgänge erklären, bei denen Selbstinduktion auftritt;
- vertiefen ihre Erkenntnisse bezüglich der elektromagnetischen Induktion.

Unterrichtsmittel

DE 1, 2: Universalgenerator, Spule mit 500 Windungen, geblätterter U-Kern, geblätterter I-Kern, Schichtwiderstand (100 Ω), Demonstrationsoszillograf

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Selbstinduktion (Motivation und W) Das i-t-Diagramm einer Spule (E) **20 min**	Oszillografisches Darstellen des i-t-Diagramms einer Spule (DE 1, TB a) Beschreiben und Erläutern des experimentellen Ergebnisses auf der Grundlage des Induktionsgesetzes und des Lenzschen Gesetzes, Diskutieren des Kurvenverlaufs auf der Grundlage der Kenntnisse bezüglich Ein- und Ausschaltvorgang aus Kl. 9 (SSA) Untersuchen des Einflusses des Eisenschlusses der Spule (DE 2)
In jeder Spule, die von einem sich zeitlich ändernden Strom durchflossen wird, tritt eine Induktionsspannung auf. Sie ist ihrer Ursache, der Stromänderung, entgegengerichtet (Lenzsches Gesetz) und bewirkt deshalb ein Verzögern sowohl des Ansteigens als auch des Absinkens der Stromstärke.	
(2) Induktivität einer Spule **20 min**	Herleiten der Gleichung für die Selbstinduktionsspannung einer Spule aus dem Induktionsgesetz (UG), Definieren der Induktivität (LV). Erklären des Ergebnisses von DE 2, Ermitteln der Einheit für die Induktivität (SSA, HA_1, TB b)
Die Gleichung für die Selbstinduktionsspannung einer langen Spule läßt sich aus dem Induktionsgesetz herleiten. Die Induktivität charakterisiert das Verhalten der Spule bei Stromstärkeänderung. Die Einheit der Induktivität ist $1\ V \cdot s \cdot A^{-1} = 1\ H$. Die Selbstinduktionsspannung ist außerdem der Änderungsgeschwindigkeit des Spulenstromes proportional.	
(3) Anwendungen **5 min**	Vermitteln eines Überblickes über die Bedeutung der Induktivität (LV) Berechnen der Induktivität einer Spule (SSA, HA_2)

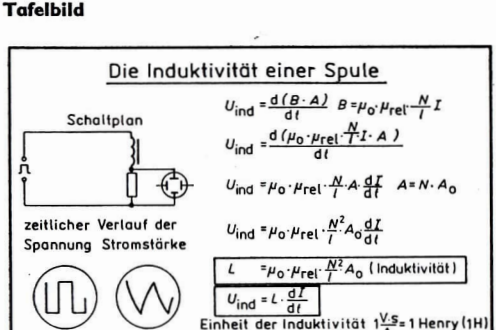
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Das Demonstrationsexperiment dient der Problemstellung. Zur Auffrischung ihrer Kenntnisse aus Klasse 9 arbeiten die Schüler nachfolgend den Lehrbuchabschnitt auf den Seiten 65/66 durch. Sie beschreiben zunächst am Beispiel der dort angegebenen Experimente die Erscheinung der Selbstinduktion. Nachfolgend deuten sie das im Demonstrationsversuch gewonnene Ergebnis. Dabei werden die Betrachtungen der vorangegangenen Stunde zum Lenzschen Gesetz vertieft.
Die Veränderung des Kurvenverlaufs bei Variieren des Eisenschlusses dient zur Motivation der Untersuchung der Induktivität und ihrer Abhängigkeit von den Spulendaten.
Bei Verwendung der angegebenen Geräte ist eine Frequenz von ca. 300 Hz besonders geeignet.

(2) Die Erarbeitung der Gleichungen erfolgt analog der Darstellung im LB. Als HA wird von jedem Schüler die Vorbereitung eines Vortrages gefordert, der die Herleitung der Gleichung für die Selbstinduktionsspannung, die Beschreibung der Demonstrationsexperimente und die Deutung der experimentellen Ergebnisse zum Inhalt hat.

(3) Im kurzen Lehrervortrag wird auf einige wenige Geräte eingegangen, in denen die Selbstinduktion Anwendung bzw. Berücksichtigung findet. Als HA stellen die Schüler auf der Grundlage der Aufgaben 4 und 5 im LB S. 65 und 1, LB S. 67, weitere Beispiele zusammen. Die Berechnung der Induktivität einer Spule (Aufgabe 4 im LB S. 153) wird von den Schülern zu Hause abgeschlossen.
Um die Stunde stofflich zu entlasten bzw. einen breiteren Raum für die Behandlung der Anwendungen einschließlich der Berechnungen zu gewinnen, ist es möglich, die unter (1) vorgesehene Lehrbucharbeit der Schüler bereits in die Phase der HA zu dieser Stunde zu verlegen. Diese Variante ermöglicht es außerdem, daß sich je ein Schüler auf die Durchführung der im Lehrbuchtext beschriebenen Experimente zum Ein- und Ausschaltvorgang einer Spule vorbereitet und diese als Schülerdemonstrationsexperiment vorführt.

Tafelbild



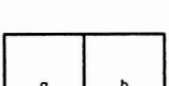


Bild 89/1

14. Stunde: Induktion (Wiederholung und Vertiefung)

Stundenziele

Die Schüler

— können Φ-t-Diagramme hinsichtlich der erzeugten Induktionsspannung interpretieren.

Es wird ein weiterer Beitrag zur Realisierung der in den Stunden 10 bis 13 formulierten Ziele geleistet.

Unterrichtsmittel

wie in der 10., 11. und 12. Stunde

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Induktionsgesetz (W, Fst) Gewinnen und Auswerten eines Φ-t-Diagrammes (Ü) Realisieren von Bedingungen für die Induktion (Fst, K) **20 min**	Zusammenstellen der Bedingungen für das Auftreten einer Induktionsspannung, Nennen des Induktionsgesetzes, Interpretieren für den Fall eines zeitlich konstanten und eines zeitlich veränderlichen Magnetfeldes (SSA, LV, DE 1) Aufzeichnen des magnetischen Flusses und der Induktionsspannung als Funktion der Zeit, Vergleichen mit den Lehrbuchabbildungen 64/2 und 64/3 (SSA) Nennen der Bedingungen für eine Induktionsspannung, Zusammenstellen und Vorführen einer experimentellen Anordnung (SSA, DE 2)
(2) Lenzsches Gesetz (W, Fst) Thomsonsches Ringexperiment **15 min**	Nennen des Lenzschen Gesetzes, Erläutern des Zusammenhanges zwischen dem Lenzschen Gesetz und dem Energieerhaltungssatz (SSA) Vorführen des Ringexperimentes mit Gleichspannung (LV, DE 3) Erklären der Vorgänge (SSA) Vorführen des Thomsonschen Ringexperimentes (DE 4) Deuten des experimentellen Ergebnisses (UG)
(3) Induktivität (W, Fst) **10 min**	Herleiten der Gleichung für die Selbstinduktionsspannung (SV) HA (K) Nennen und Erläutern von Beispielen zur Selbstinduktion (UG, HA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Das Experiment, in dem sich eine Rahmenspule mit konstanter Geschwindigkeit über eine ausgedehnte Polfläche bewegt, wird nach kurzer Beschreibung des Versuchsaufbaues vorgeführt. Die Schüler zeichnen den zeitlichen Verlauf des magnetischen Flusses, der die Spule durchsetzt, und der Spannung in ihr Heft und vergleichen mit den Darstellungen im LB. Das Entwickeln experimenteller Anordnungen zur Erzeugung einer Induktionsspannung erfolgt in Abstimmung mit den bereits realisierten Experimenten in der 12. Stunde.

(2) Für das Ringexperiment ist vorzugsweise der im LB S. 67 (Bild 67/4) beschriebene Versuchsaufbau, aber auch die Anordnung mit dem hängenden Ring gemäß PSV 9, Bild 2.1.8./2 geeignet.
Bei der Auswertung des Thomsonschen Ringexperimentes wird die Anordnung auch als stark belasteter Transformator mit einer Sekundärwindung charakterisiert. Dabei ist im Ausblick auf die 17. Stunde sowohl ein Hinweis auf die Gesetze beim Transformator als auch auf technische Probleme (große Kräfte zwischen stromdurchflossenen Windungen) sinnvoll.

(3) Neben dem Nennen und kurzen Erläutern von Anordnungen, bei denen die Induktivität einer Spule eine Rolle spielt, wird ein Beispiel in den Mittelpunkt der Betrachtungen gestellt. Dafür ist besonders die Drosselspule einer Leuchtstoffröhre geeignet (Begrenzung der Stromstärke und Bereitstellen der Zündspannung). Darüber hinaus bieten sich auch der Schwingkreis und die elektrische Klingel an.
Als HA bereitet jeder Schüler auf der Grundlage des Lehrbuches und unter Hinzuziehen weiterer Literatur (z.B. Brockhaus ABC Physik, Brockhaus ABC Naturwissenschaft und Technik) einen Vortrag zum Generator, Elektromotor oder Transformator für die 15., 16. oder 17. Stunde vor. Die Schüler werden dazu angehalten, entsprechende Anschauungsmittel (Folien, Bilder) herzustellen sowie sich anhand des Generator-Motor-Modells auf die Ausführungen vorzubereiten.

15. Stunde: Der Generator

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den prinzipiellen Aufbau von Gleich- und Wechselstromgenerator und können deren Wirkungsweise auf der Grundlage des Induktionsgesetzes erklären;
- kennen das Generatorprinzip und können die Energieumwandlungen im Generator beschreiben;
- wissen, daß das erforderliche Drehmoment bei einem Generator von dessen elektrischer Belastung abhängt;
- kennen die große praktische Bedeutung und Anwendungen des Generators.

Unterrichtsmittel

DE 1, 2: Generator-Motor-Modell (auch für DE 3), Demonstrationsspannungsmesser (100 mV—)
DE 3: Stromversorgungsgerät (20 V—/4 A), Demonstrationsstrommesser (10 A—), Gleitwiderstand 140 Ω, Schalter, Riementrieb

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Aufbau und Wirkungsweise des Gleich- und Wechselstromgenerators (E) **15 min**	Beschreiben des Aufbaues des Wechsel- und des Gleichstromgenerators (1. und 2. SV, TB a) Erklären der Wirkungsweise des Wechsel- und des Gleichstromgenerators, Herleiten der Beziehung für die Spannung beim Wechselstromgenerator (UG, TB b) Demonstrieren der Wirkungsweise (DE 1, UG, DE 2, TB c)
Rotiert eine Spule gleichförmig so im homogenen Magnetfeld, daß sich dabei der magnetische Fluß, der sie durchsetzt, ändert, dann wird in ihr eine sinusförmige Wechselspannung induziert. Beim Wechselstromgenerator wird diese Spannung direkt abgenommen, beim Gleichstromgenerator erfolgt im Kommutator nach jeder halben Umdrehung ein Umpolen der Spannung.	
(2) Energieumwandlungen im Generator **15 min**	Erklären der Umwandlung mechanischer Energie in elektrische auf der Grundlage des Induktionsgesetzes und des Lenzschen Gesetzes (SSA) Nachweis der Abhängigkeit des erforderlichen Drehmoments beim Generator in Abhängigkeit von dessen elektrischer Belastung (DE 3, TB d) Deuten des experimentellen Ergebnisses (SSA) Diskutieren weiterer Energieumwandlungen im Generator und Abschätzen des Wirkungsgrades (UG)
Im Generator wird mechanische Energie in elektrische und zu einem kleinen Teil in Wärmeenergie umgewandelt. Die Umwandlung mechanischer in elektrische Energie erfolgt auf der Grundlage des Induktionsgesetzes und des Lenzschen Gesetzes.	
(3) Anwendung des Generators (E) **15 min**	Vermitteln eines Überblicks über Anwendungsbereiche der Generatoren, Hinweisen auf prinzipielle technische Ausführungen (LV, SSA, HA)
Generatoren besitzen eine große praktische Bedeutung. In der technischen Ausführung werden sie dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßt.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

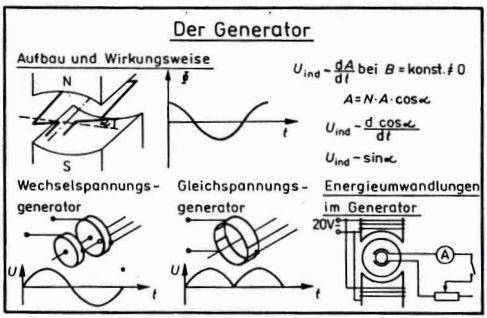
(1) Zur Motivation dieser und der folgenden Stunde dient das Beispiel Pumpspeicherwerk (LB S. 57). Bei den ersten beiden Demonstrationsexperimenten finden die Polschuhe mit Permanentmagneten Verwendung. Der Anker wird direkt von Hand sehr langsam und möglichst gleichförmig gedreht, so daß der zeitliche

Verlauf der Spannung am Spannungsmesser verfolgt werden kann. Den Schülern wird bewußt gemacht, daß zum Zeitpunkt des maximalen magnetischen Flusses durch die Ankerwicklung die Flußänderung und damit die induzierte Spannung gerade Null ist. Es wird empfohlen, die Beziehung für die sinusförmige Spannung auch aus dem Induktionsgesetz herzuleiten. Da beim Transformator analoge Verhältnisse vorliegen, die die Phasenlage zwischen Primär- und Sekundärspannung beeinflussen, schaffen die Überlegungen wichtige Voraussetzungen für die 17. Stunde.

(2) Die Schüler sagen, ausgehend vom Lenzschen Gesetz, das Ergebnis des 3. Experimentes voraus. Zur Erzeugung eines starken Statorfeldes finden die Feldspulen mit 1200 Windungen Verwendung, sie werden parallel geschaltet und mit dem Stromversorgungsgerät (20 V—) verbunden. Der Anker wird über einen Riementrieb in rasche Umdrehung versetzt. Wird dem Anker keine elektrische Energie entnommen, so ist das mit geringem Kraftaufwand möglich. Verringert man jedoch den Widerstand allmählich bis auf 0, so nimmt das erforderliche Drehmoment stark zu (Hinweis auf Beobachtungen der Schüler mit dem Fahrraddynamo). Zur Deutung dieses experimentellen Ergebnisses sollte die Lorentzkraft herangezogen werden. Dabei kann auch in Vorbereitung auf die folgende Unterrichtsstunde der Begriff „Motorprinzip" Verwendung finden.

(3) Nach einem Überblick über die wichtigsten praktischen Anwendungen wird auf einige Besonderheiten bei technischen Generatoren (Vielpolsysteme, Innenpolmaschinen, Verkettung der Spannungen) verwiesen. In der anschließenden Diskussion wird beim Herausarbeiten der zweckmäßigen Anpassung an das jeweilige praktische Problem das physikalisch und ökonomisch Wesentliche in den Vordergrund gerückt (z.B. schwaches Pulsieren der Gleichspannung, niedriger Materialaufwand, geringer Verschleiß, hoher Wirkungsgrad). Dabei finden sowohl die Tendenz zu immer größeren Generatoren wie auch der MHD-Generator Berücksichtigung.
Die HA stützt sich auf Aufgaben analog der Aufgabe 1 im LB S. 71.

Tafelbild



a	b
c	d

(Die Gleichung lautet: $A = N \cdot A_0 \cdot \cos\alpha$)

Bild 93/1

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den prinzipiellen Aufbau und die Wirkungsweise des Gleichstrommotors;
- kennen den Zusammenhang zwischen elektromotorischem Prinzip und Generatorprinzip;
- wissen, daß im belasteten Motor und Generator jeweils elektromotorisches Prinzip und Generatorprinzip wirken;
- kennen die Vorzüge und die technische Bedeutung des Elektromotors.

Unterrichtsmittel

DE 1, 2: Generator-Motor-Modell (auch für DE 3), Stromversorgungsgerät (20 V—/4 A) (auch für DE 3 und DE 4), Demonstrationsstrommesser (10 A—), (auch für DE 3)
DE 3: Akkumulator (6 V), Gleitwiderstand (15 Ω/5 A), Riementrieb
DE 4: Verschiedene Klein- und Kleinstmotoren

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Aufbau und Wirkungsweise des Gleichstrommotors (E) **15 min**	HA (K) Beschreiben des Aufbaus und Erklären der Wirkungsweise des Motors (SV, DE 1) Zurückführen der Wirkungsweise des Motors auf die Lorentzkraft (SSA, TBa)
Der Gleichstrommotor besitzt den gleichen prinzipiellen Aufbau wie der Gleichstromgenerator. Das periodische Umpolen des Ankerstromes durch den Kommutator bewirkt ein ständiges Weiterdrehen des Ankers.	
(2) Zusammenhang zwischen elektromotorischem Prinzip und Generatorprinzip (E) **20 min**	Nachweisen der Abhängigkeit der Ankerstromstärke eines Motors von dessen mechanischer Belastung (DE 2, TBb) Beschreiben der Energieumwandlungen beim Motor, wiederholendes Erläutern der Wirkungsweise des Gleichstromgenerators und der Energieumwandlungen im Generator (SSA, TBc) Aufzeigen des Zusammenhanges elektromotorisches Prinzip/Generatorprinzip (SSA) Herausarbeiten, daß in jedem laufenden Motor eine Induktionsspannung im Anker induziert wird, Bewußtmachen, daß in einem belasteten Generator durch den fließenden Strom Drehmomente auftreten (UG) Nachweisen der engen Verknüpfung von Generator und Motor (DE 3, TBd)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Gleichstrommotor und -generator sind in ihrer Wirkung aufs engste miteinander verknüpft. In jedem laufenden Motor wird (wie in einem Generator) auch eine Spannung induziert. In jedem belasteten Generator tritt (wie in einem Motor) auch ein Drehmoment auf. Diese Prozesse sind für die jeweilige Energieumwandlung von grundlegender Bedeutung.	
(3) Anwendung des Motors (E) 10 min	Vermitteln eines Überblicks über die Vorzüge und die daraus resultierenden vielfältigen technischen Anwendungsmöglichkeiten des Elektromotors, Hinweisen auf einige Arten von Wechselstrommotoren und deren prinzipielle Wirkungsweise (LV) Diskutieren der Anwendungen und der ihnen angepaßten Ausführungen von Motoren (SSA) Vorführen einiger Motoren (DE 4, HA)
Infolge seiner Vorzüge findet der Elektromotor vielfältige technische Anwendung.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

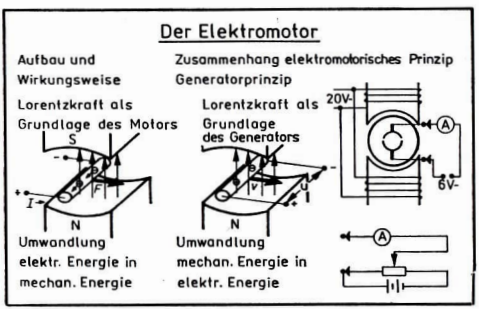
(1) Da Gleichstromgenerator und -motor den gleichen prinzipiellen Aufbau besitzen, dient der Schülervortrag gleichzeitig der Wiederholung bezüglich des Generators. Beim 1. Experiment können die Polschuhe mit Permanentmagnet Verwendung finden. Die erforderliche Spannung beträgt 6 V bis 10 V, ggf. ist ein leichtes Anstoßen des Ankers erforderlich.

(2) Analog zum Vorgehen beim Generator werden die Energieumwandlungen im Motor betrachtet, besonders die Umwandlung elektrischer in mechanische Energie und deren großer Wirkungsgrad. Die Betrachtungen erfolgen anhand von DE 2, bei dem wie beim entsprechenden Experiment zum Generator die parallelgeschalteten Statorspulen mit 1200 Windungen mit dem Stromversorgungsgerät (ca. 10 V—) verbunden werden. Die gleiche Spannung wird über den Strommesser an den Anker gelegt. Die Versuchsdurchführung erfolgt entsprechend LB S. 70/71.
Nachfolgend verweist der Lehrer darauf, daß jetzt die Kenntnisse ausreichen, um das im Zusammenhang mit dem Pumpspeicherwerk formulierte Problem aus der vorangegangenen Stunde zu lösen. Die Beantwortung der Frage (vgl. LB S. 57) durch die Schüler dient gleichzeitig der weiteren Wiederholung der Unterrichtsergebnisse bezüglich des Generators.
Beim Vergleichen von Motor und Generator werden der gleiche prinzipielle Aufbau und die für die Wirkungsweise beider Geräte entscheidenden Gesetzmäßigkeiten, Induktionsgesetz und Lorentzkraft, hervorgehoben. Außerdem wird auf den jeweils entgegengesetzten Energiefluß orientiert. Das Aufzeigen der engen Verknüpfung der Wirkungsweise von Motor und Generator, das die Zusammenhänge völlig klären sollte, wird mit dem Unterrichtsgespräch vorbereitet und durch das DE 3 abgeschlossen.
Es wird herausgearbeitet, daß in jedem laufenden Motor gleichzeitig dieselben Bedingungen wie in einem Generator vorliegen und daß in jedem belasteten Generator die Verhältnisse auch denen im laufenden Motor entsprechen. Zum Bewußtmachen dieses gleichzeitigen Ablaufens beider Prozesse werden die Statorwicklungen des Generator-Motor-Modells mit 1200 Windungen wieder parallelgeschaltet und mit dem Stromversorgungsgerät verbunden (20 V—). Im Ankerstromkreis befindet sich der Strommesser mit dem Zeiger auf Mittelstellung. Als Spannungs-

quelle dient der Akkumulator mit nachgeschaltetem Spannungsteiler. Die Spannung wird so eingestellt, daß sich der Anker nach dem Anstoßen möglichst langsam dreht. Nun wird von Hand zusätzlich mittels des Riementriebes der Anker in raschere Drehbewegungen versetzt. Der Ankerstrom sinkt ab. Damit wird nachgewiesen, daß die infolge der Drehung im Anker induzierte Spannung der angelegten entgegengerichtet ist. Ist bei einer bestimmten Drehzahl der Ankerstrom auf Null gesunken, so bedeutet das, daß die induzierte Spannung dem Betrag nach gleich der angelegten Spannung ist. Wird noch schneller gedreht, so nimmt der Strom mit entgegengesetztem Richtungssinn wieder zu. Das Gerät arbeitet als Generator. Mit dem erzeugten Strom wird der Akkumulator aufgeladen.

(3) Im Vordergrund des Lehrervortrages und der Diskussion stehen die Vorzüge des Elektromotors: Hoher Wirkungsgrad, geräuscharmer Lauf, geringes Leistungsgewicht, starke Variabilität bezüglich der Abmessungen und der Leistung, hohe Anpassungsfähigkeit infolge verschiedener Typen. Bezüglich der Wechselstrommotoren wird kurz auf die Verwendung von Drehfeldern und einige Möglichkeiten zu deren Erzeugung eingegangen. Hierfür ist auch ein Schülervortrag geeignet. Zur Unterstützung der häuslichen Durcharbeitung des behandelten Stoffes werden einige der Aufgaben 2 bis 5 im LB S. 71 herangezogen.

Tafelbild



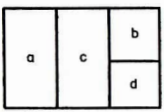


Bild 96/1

17. Stunde: Der Transformator

Stundenziele

Die Schüler

- können den Aufbau des Transformators beschreiben und seine Wirkungsweise auf der Grundlage des Induktionsgesetzes erklären;
- kennen die Gleichungen für Spannungen und Stromstärken beim Transformator und können sie anwenden;

— erkennen die Rückwirkung des Magnetfeldes der Sekundärspule auf den Strom im Primärkreis;
— kennen die große technische Bedeutung des Transformators und einige spezielle Ausführungsformen.

Unterrichtsmittel

DE 1: Spulen verschiedener Windungsanzahl (auch für DE 2, 3), geblätterter I- und U-Kern (auch für DE 2, 3), Stromversorgungsgerät (20 V~/4 A) (auch für DE 2, 3), 2 Demonstrationsspannungsmesser (10 V~, 100 V~)
DE 2, 3: Gleitwiderstand (15 Ω/5 A), 2 Demonstrationsstrommesser (1 A~, 10 A~)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Aufbau und Wirkungsweise des Transformators 10 min	HA (K) Beschreiben des Aufbaues des Transformators, Erklären der Wirkungsweise auf der Grundlage des Induktionsgesetzes (SV)
Der die Primärspule des Transformators durchfließende Wechselstrom bedingt, daß sich das Magnetfeld, das auch die Sekundärspule durchsetzt, ständig ändert. Dadurch wird in der Sekundärspule eine Wechselspannung induziert.	
(2) Spannungsverhältnisse am unbelasteten Transformator 15 min	Nennen und Erläutern der Gleichung für die Spannungsübersetzung, Aufzeigen der Beziehung zum Induktionsgesetz (SSA) Veranschaulichen der Spannungsverhältnisse (DE 1), Aufzeigen der praktischen Bedeutung der Spannungsänderung (SSA, TBb)
Für den unbelasteten Transformator gilt in Übereinstimmung mit dem Induktionsgesetz die Beziehung $U_1/U_2 = N_1/N_2$.	
(3) Stromstärkeverhältnisse am Transformator 20 min	Beschreiben der Energieumwandlungen beim Transformator, Nennen und Erläutern der Gleichung für die Stromstärkeübersetzung. Aufzeigen der Beziehung zum Energieerhaltungssatz (SSA) Veranschaulichen der Stromstärkeverhältnisse (DE 2, TBc) Demonstration der Rückwirkung des Sekundärstromes auf den Primärstrom (DE 3) Durcharbeiten des Lehrbuchtextes S. 72/73, Erklären des experimentellen Ergebnisses, Aufzeigen der praktischen Bedeutung der Stromstärkeänderung (SSA, HA)
Für den belasteten Transformator gilt in Übereinstimmung mit dem Energieerhaltungssatz die Beziehung $I_2/I_1 = N_1/N_2$. Je nach der Belastung des Transformators wirkt der Sekundärstrom über sein Magnetfeld unterschiedlich stark auf den Primärstrom zurück.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Der Schülervortrag stützt sich auf die Behandlung des Transformators in Klasse 10. In der anschließenden Diskussion, die der Vertiefung des Verständnisses der Wirkungsweise dienen soll, gibt der Lehrer einige zielgerichtete Denkanstöße. Ein Ergebnis soll u. a. sein, daß die Wirkungsweise des Transformators nicht mit der Lorentzkraft zu erklären ist. In leistungsstarken Klassen können neben der speziellen Formgebung der Transformatoren je nach Verwendungszweck auch die Verhältnisse bei der Umformung nichtsinusförmiger Spannungen (z. B. pulsierender Gleichspannungen) Gegenstand der Diskussion sein.

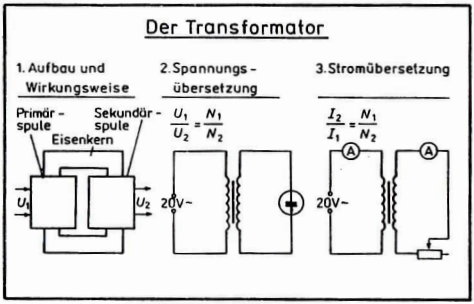
(2) Für das Aufzeigen der Beziehungen zwischen der Gleichung für die Spannungsübersetzung beim Transformator und dem Induktionsgesetz sind vor allem folgende Gedankengänge wichtig:

- In der Primärspule tritt eine Selbstinduktionsspannung auf, die (bis auf geringfügige Abweichungen) gleich der angelegten Spannung ist (unbelasteter Transformator). Besitzt die Sekundärspule die gleiche Windungsanzahl, so wird in ihr infolge der gleichen Kraftflußänderung auch die gleiche Spannung wie in der Primärspule induziert.
- Eine Veränderung der Sekundärwindungsanzahl bedingt eine entsprechende Veränderung des wirksamen magnetischen Flusses im Sekundärteil. Deshalb muß die Sekundärspannung der Sekundärwindungsanzahl proportional sein.

Das Demonstrationsexperiment wird von den Schülern vorgeschlagen und durchgeführt. Hierfür sind u. a. aus PSV 9, V 2.2.3. bis 2.2.5. geeignet. Sollten auch Anwendungsbeispiele genannt werden, bei denen keine sinusförmige Wechselspannung Verwendung findet (z. B. Zündspulen von Kraftfahrzeugen, Funkeninduktoren), so ist der Hinweis erforderlich, daß hierfür zwar das Induktionsgesetz, nicht aber die Gleichung für die Spannungsübersetzung beim Transformator gilt.

(3) Beim Beschreiben der Energieumwandlung werden auch die Gründe für das Entstehen von Wärmeenergie (ohmscher Widerstand der Wicklungen, Wirbelströme, Ummagnetisierungen im Eisenkern) genannt. DE 2 wird von den Schülern geplant und durchgeführt. Hierfür sind u. a. die in PSV 9 unter 2.2.4.c und 2.2.5., Versuch 2, beschriebenen Anordnungen geeignet. Bei DE 3 wird in den Sekundärkreis der Gleitwiderstand eingeschaltet. Beim allmählichen Verkleinern des Widerstandes wird die Veränderung der Primär- und der Sekundärstromstärke beobachtet.
Zur Festigung des Stundenstoffes sind die Aufgaben 1 bis 4 im LB S. 73 geeignet. Außerdem lösen die Schüler die Aufgaben 5 und 6, LB S. 153.

Tafelbild



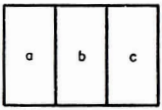


Bild 99/1

18. Stunde: Die untrennbare Verknüpfung des elektrischen und des magnetischen Feldes

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß ein sich veränderndes magnetisches Feld untrennbar mit einem elektrischen Feld verknüpft ist;
- wissen, daß ein sich veränderndes elektrisches Feld untrennbar mit einem magnetischen Feld verknüpft ist;
- wissen, daß die Maxwellsche Theorie diesen engen Zusammenhang zwischen elektrischen und magnetischen Feldern beschreibt;
- kennen die große Bedeutung der Maxwellschen Theorie, insbesondere den Zusammenhang dieser Gleichungen mit den elektromagnetischen Wellen.

Unterrichtsmittel

DE: Influenzmaschine, Leidener Flasche, Funkenstrecke (z. B. 2 Holtzsche Klemmen mit Stricknadeln), Großraummelderöhre oder große Glimmlampe

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Verknüpfung eines sich verändernden Magnetfeldes mit einem elektrischen Feld (E) **20 min**	HA (K) Motivieren einer abschließenden, vertiefenden Betrachtung des Induktionsvorganges (LV) Beschreiben des Induktionsvorganges im zeitlich veränderlichen Magnetfeld (SSA) Bewußtmachen der Rolle der Induktionsspule beim Induktionsvorgang, Demonstrieren des elektrischen Feldes, das bei zeitlicher Änderung des Magnetfeldes auftritt (DE), Aufzeigen und Erläutern der untrennbaren Verknüpfung (LV, TBa)
Jedes sich verändernde magnetische Feld ist untrennbar mit einem elektrischen Feld verknüpft. Dieses elektrische Feld äußert sich in der Induktionsspannung, die an den Enden der Induktionsspule nachweisbar ist.	
(2) Verknüpfung eines sich verändernden elektrischen Feldes mit einem Magnetfeld (E) **10 min**	Motivieren einer analogen Betrachtung des sich verändernden elektrischen Feldes, Beschreiben und Erklären der Vorgänge (TBb)
Jedes sich verändernde elektrische Feld ist untrennbar mit einem magnetischen Feld verknüpft.	
(3) Bedeutung der Maxwellschen Theorie (E) **15 min**	Informieren, daß diese Sachverhalte wesentlicher Inhalt der Maxwellschen Theorie sind. Charakterisieren der Bedeutung der Maxwellschen Theorie (LV) Bewußtmachen der Möglichkeit, die Vorgänge bei der Erzeugung und Ausbreitung Hertzscher Wellen auf der Grundlage der Maxwellschen Theorie zu beschreiben (LV) Beschreiben der Entstehung Hertzscher Wellen (SSA, HA)
Wesentlicher Inhalt der Maxwellschen Theorie ist die enge Verknüpfung zwischen elektrischem und magnetischem Feld. Sie ermöglicht u. a. die Erklärung der Vorgänge bei der Entstehung Hertzscher Wellen.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Das Ziel der Unterrichtsstunde besteht in erster Linie in einer Vertiefung und Systematisierung der vorangehend behandelten Zusammenhänge. Die Inhalte vor allem des 1. Teils wurden, weitgehend von der Behandlung der elektromagnetischen Induktion in Klasse 9 ausgehend, in den vorhergehenden Unterrichtsstunden vorbereitet. Da es in der gesamten Unterrichtsstunde um die einwandfreie Formulierung wesentlicher und anspruchsvoller allgemeiner Zusammenhänge geht, dominiert der Lehrervortrag.

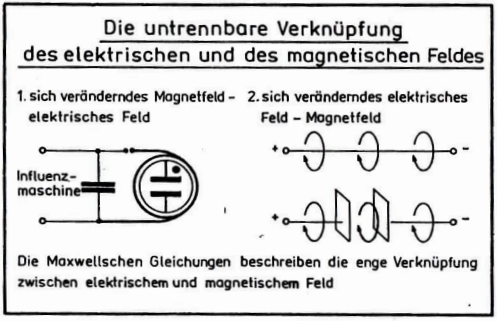
(1) Das Hauptanliegen besteht darin, den Schülern bewußtzumachen, daß bei den Experimenten zur elektromagnetischen Induktion primär ein elektrisches Feld

auftritt und die beobachtete Induktionsspannung an den Enden eines Leiters eine Folge dieses Feldes ist. Diese Tatsache wird durch das Experiment belegt.

(2) Die Behandlung des wesentlichen Inhaltes der 1. Maxwellschen Gleichung erfolgt ausgehend vom Magnetfeld eines stromdurchflossenen gestreckten Leiters. An der Tafelskizze entsprechend der Lehrbuchabbildung 75/2 werden die Sachverhalte erläutert, die auftreten, wenn in den Stromkreis ein Plattenkondensator eingeschaltet wird.
Den Schülern wird bewußtgemacht, daß den vielfältigen, verschiedenartigen Objekten und Erscheinungen, die in den vorangegangenen Stunden untersucht wurden, ein allgemeiner Zusammenhang zugrunde liegt, der erstmals von Maxwell in seinen berühmt gewordenen Gleichungen beschrieben wurde. Diese Tatsache wird als ein weiterer Beleg für die Ordnung in der uns umgebenden Welt gewertet, die in unseren wissenschaftlichen Erkenntnissen ihren Niederschlag findet.

(3) Die Beschreibung der Entstehung Hertzscher Wellen auf der Grundlage der Maxwellschen Theorie kann nicht in aller Tiefgründigkeit und Vollständigkeit erfolgen. Sie dient in erster Linie dem Ziel, den Schülern die Bedeutung der Maxwellschen Theorie nahezubringen.
Die HA bereitet die Klassenarbeit in der folgenden Stunde mit vor.

Tafelbild



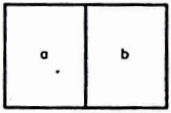


Bild 101/1

19. Stunde: Elektrostatische, magnetostatische und elektromagnetische Felder (Schriftliche Leistungskontrolle)

Entsprechend den Lehrplanforderungen sollte die Auswahl der Inhalte der Arbeit folgender Zusammenstellung entnommen werden:

- Beschreiben elektrostatischer Felder durch die elektrische Feldstärke und das Feldlinienmodell;
- Kräfte auf elektrisch geladene Probekörper in elektrostatischen Feldern;
- Beschreiben magnetostatischer Felder durch die magnetische Flußdichte und das Feldlinienmodell,
- Die magnetische Flußdichte für den geraden Leiter und das homogene Magnetfeld einer Spule;
- Die Ablenkung von bewegten elektrischen Ladungen und stromdurchflossenen Leitern im Magnetfeld;
- Lösen von Aufgaben zur magnetischen Flußdichte und zur Lorentzkraft;
- Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons;
- Vergleichen elektrostatischer und magnetostatischer Felder hinsichtlich ihrer Entstehung, ihres Nachweises und ihrer Beschreibung durch Feldgrößen;
- Die Erzeugung einer Induktionsspannung im zeitlich konstanten und zeitlich veränderlichen Magnetfeld;
- Der magnetische Fluß (Interpretieren eines Φ-t-Diagramms hinsichtlich der erzeugten Induktionsspannung);
- Das Induktionsgesetz (Interpretieren des Induktionsgesetzes, Planen von Experimentieranordnungen),
- Erläutern wesentlicher Merkmale des Induktionsvorganges;
- Lösen von Aufgaben zu Induktionsvorgängen;
- Die Induktivität einer Spule;
- Wirkungsweise von Generator, Motor und Transformator,
- Zusammenhang von elektromotorischem Prinzip und Generatorprinzip;
- Strom- und Spannungsverhältnisse am Transformator;
- Beschreiben der Energieumwandlungen von Generator, Motor und Transformator;
- Rückwirkung der Felder bei Motor, Generator und Transformator;
- Wesentliche Inhalte der Maxwellschen Theorie.

In der Arbeit sollte ein günstiges Verhältnis zwischen der Kontrolle der Beherrschung der Grundlagen (Sachverhalte, physikalische Größen, Gesetze), der notwendigen Einsicht in die bestehenden Zusammenhänge und der Anwendungsbereitschaft des erworbenen Wissens angestrebt werden. Es sollte sowohl dem Erfragen wichtiger Fakten einschließlich notwendiger Erläuterungen und Deutungen als auch der praktischen Anwendung bis hin zur Berechnung bestimmter Größen unter den Bedingungen der Praxis Aufmerksamkeit geschenkt werden.
Weiterhin sollte das umfassende Darstellen und tiefgründige Diskutieren wichtiger Gemeinsamkeiten, Unterschiede und Zusammenhänge wie etwa zwischen elektrischem und magnetischem Feld, zwischen Generatorprinzip und elektromotorischem Prinzip, zwischen Induktion und Selbstinduktion angestrebt werden.

Anregungen zur Formulierung der Aufgabenstellungen geben die Aufgaben im Lehrbuch. Darüber hinaus sind Aufgabenstellungen möglich wie:

- Geben Sie an, ob bei den nebenstehend skizzierten Experimenten eine Induktionsspannung auftritt oder nicht, und begründen Sie ihre Entscheidung (ausgehend vom Induktionsgesetz)!
- Zeichnen Sie für nebenstehende Anordnungen den Verlauf der elektrischen bzw. magnetischen Feldlinien! Arbeiten Sie, hiervon ausgehend, Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen dem elektrischen und magnetischen Feld heraus!
- Entwerfen Sie eine experimentelle Anordnung, die es ermöglicht, zu untersuchen, wie die Induktionsspannung von der zeitlichen Änderung der wirksamen Fläche abhängt!

Eine Anlage der Kontrollarbeit in Arbeitsblattform ist empfehlenswert.

Stoffeinheit Elektrische Leitungsvorgänge

Vorbemerkungen 21 Stunden

In dieser Stoffeinheit wird nahezu das gesamte Wissen, das die Schüler im Unterricht zur Elektrizitätslehre erworben haben, wiederholt und vertieft. Die Niveauerhöhung gegenüber dem Abschluß der Klasse 10 drückt sich in einer wesentlich stärkeren Systemhaftigkeit und größeren Allgemeinheit des Wissens aus. Vor allem erhalten die Schüler einen gründlicheren Einblick in den Erkenntnisprozeß. Sie erfassen besser als bisher das Wesen des empirischen und des theoretischen Vorgehens sowie den ständig notwendigen Wechsel zwischen beiden Erkenntniswegen, wobei die Arbeit mit Modellen besonders stark in Erscheinung tritt. Dadurch sind in dieser Stoffeinheit reiche erzieherische Potenzen philosophisch-weltanschaulicher Art gegeben. Diese werden jedoch nicht von selbst wirksam, sondern müssen vom Lehrer zielstrebig und systematisch an die Schüler herangetragen werden. Lehrbuch und Unterrichtshilfen enthalten hierzu zahlreiche Anregungen.
Die vorgesehenen Schülerexperimente tragen dazu bei, das Können der Schüler bei der Vorbereitung, Durchführung und Auswertung von einfachen Experimenten weiterzuentwickeln. Hierbei sollte der Lehrer auf die Herausbildung solcher Persönlichkeitseigenschaften wie Exaktheit in der Arbeit, sorgfältiger Umgang mit Geräten, kritische Einschätzung der eigenen Tätigkeit u. a. Einfluß nehmen.
Der Einstieg in die Wiederholung und Vertiefung der Grundlagen aus den Klassen 8 und 9 erfolgt in enger Verknüpfung zwischen dem allgemeinen Leitungsmodell und den Gesetzen des Gleichstromkreises. Voraussetzung für eine effektive Unterrichtsgestaltung ist dabei gründliches Wissen des Lehrers darüber, wie und auf welchem Niveau dieser Lehrstoff in den Klassen 8 und 9 behandelt worden ist, sowie über welches Wissen und Können die Schüler noch verfügen.
Es ist auf die ausreichende Klärung der Grundbegriffe zu achten und insbesondere von Anfang an eine enge Verbindung zwischen den Begriffen Feldstärke und Spannung herzustellen. Die Spannung wird als Größe gekennzeichnet, die zur Beschreibung des elektrischen Feldes nicht nur im Vakuum, sondern auch in Leitern geeignet ist.

Die Vorgänge im Inneren der Spannungsquelle bleiben weitgehend unberücksichtigt. Ein entsprechender Hinweis auf die dadurch gegebenen Grenzen der Formulierungen im Schulstoff ist notwendig. Außerdem ist darauf zu achten, daß die übliche Verwendung des Wortes Widerstand sowohl für die Eigenschaft des Leiters als auch für das Bauelement zu keinen Mißverständnissen führt.

Das allgemeine Modell des elektrischen Leitungsvorganges wird in einer gegenüber der Klasse 9 erweiterten Form behandelt, indem in die Merkmale des Modells Angaben über die Wechselwirkungen der wandernden Ladungsträger mit den Bausteinen des jeweiligen Leiters aufgenommen werden. Die Schüler werden auf den Einfluß aufmerksam gemacht, der sich aus der jeweiligen Konzentration der wanderungsfähigen Ladungsträger und ihrer Beweglichkeit im stofflichen Leiter auf die Spannung-Stromstärke-Beziehung ergibt. Der Konzentrationsbegriff ist den Schülern aus dem Chemieunterricht ausreichend bekannt. Der Begriff der Beweglichkeit wird im Rahmen der Umgangssprache erläutert; die Definition der entsprechenden physikalischen Größe wird nicht vorgenommen.

Die Schüler erfahren, daß die Konstanz von Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger die wichtigste Bedingung für die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes darstellt. Die für viele Bauelemente zutreffenden Nichtlinearitäten in den Spannung-Stromstärke-Beziehungen, die für die Technik von außerordentlicher Bedeutung sind, lassen sich mit Hilfe dieser beiden Begriffe erklären. Aus dieser inhaltlichen Konzeption ergibt sich die Gliederung der Stoffeinheit, deren Systematik den Schülern deutlich bewußt gemacht werden soll: Am Anfang erfolgt eine Einschränkung auf Metalle, wobei zunächst ein konstantes elektrisches Feld und anschließend ein elektrisches Wechselfeld zugrundegelegt wird. Danach erfolgt der Übergang zu unterschiedlichen Bedingungen im Leiter bei vorwiegend konstantem elektrischen Feld.

Die Schüler sind systematisch darauf aufmerksam zu machen, daß auch in dieser Stoffeinheit zwei verschiedene Betrachtungsweisen möglich und üblich sind, wie das auch für andere Bereiche der Physik zutrifft. So ist an die Thermodynamik zu erinnern (kinetisch-statistische bzw. phänomenologische Betrachtungsweise), ebenso an die Optik (Strahlen- bzw. Wellenoptik) sowie an die unterschiedliche Deutung von Kräften auf elektrisch geladene Körper (körper- bzw. feldbezogene Betrachtungsweise). Da diese Bezüge im Lehrbuch nur angedeutet werden konnten, müssen sie durch Hinweise des Lehrers ergänzt werden. Zu den beiden für die Leitungsvorgänge wichtigen Betrachtungsweisen sind dagegen im Lehrbuch mehrfach Ausführungen enthalten. Das allgemeine Leitungsmodell, das die eine Betrachtungsweise kennzeichnet, ist vom atomaren Aufbau der Stoffe aus entwickelt. Die zweite Betrachtungsweise wird dadurch charakterisiert, daß die durch Messungen gefundene funktionale Abhängigkeit zwischen den physikalischen Größen (meist Spannung und Stromstärke) und ihre grafische Darstellung in den Kennlinien zur Grundlage der Überlegungen gemacht werden. Das allgemeine Leitungsmodell ermöglicht es, den speziellen Kennlinienverlauf bestimmter Bauelemente zu erklären. Anwendungsaufgaben werden dagegen meist so gelöst, daß das Vorhandensein von Bauelementen mit gegebenen Kennlinien vorausgesetzt wird.

Bei den Leitungsvorgängen im elektrischen Wechselfeld besteht eine wichtige Aufgabe des Lehrers darin, ein möglichst günstiges Verhältnis zwischen qualitativen und quantitativen Formulierungen zu finden. Im Vordergrund steht das Ziel, den Schülern Einsichten in die wesentlichen Unterschiede zwischen Gleich- und Wechselstromkreis zu vermitteln und das Verständnis dafür zu sichern, daß im Wechselstromkreis zusätzliche Einflüsse gegenüber dem Gleichstromkreis auf die Leitungsvorgänge auftreten. Aus der Sicht der vielfältigen Anwendungen ist dabei die

Frequenzabhängigkeit der Wechselstromwiderstände stärker zu betonen als die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke.
Wenn es der Entwicklungsstand der Klasse zuläßt, sollte bei der Behandlung der Blindwiderstände theoretisch vorgegangen und von der Differentialrechnung Gebrauch gemacht werden. Das Lehrbuch enthält die hierzu notwendigen Ausführungen. Dabei ist ein enger Bezug zum Stoff des Mathematikunterrichts und des Stoffgebietes Mechanik herzustellen. Die prinzipiellen Vorleistungen des Mathematikunterrichts sind zeitlich gewährleistet; allerdings ist die Ableitung der Sinusfunktion zu diesem Zeitpunkt noch nicht behandelt. Die einfachste Lösung dieser Schwierigkeit besteht darin, den Schülern im Physikunterricht die Gleichung für diese Ableitung zu geben und auf die kurze Zeit später erfolgende Behandlung im Mathematikunterricht zu verweisen.
Bei der Behandlung des Wechselstromkreises sind stets sinusförmige Zeitabläufe zu betrachten. Schaltvorgänge sind sehr kompliziert und dürfen nicht in die Überlegungen einbezogen werden; eine Ausnahme ist lediglich bei den Experimenten zur Selbstinduktion vertretbar.
Bei der Behandlung der Bauelemente mit speziellen Kennlinien ist die Aufmerksamkeit der Schüler nochmals besonders auf die Systematik des Vorgehens und auf den notwendigen mehrfachen Wechsel zwischen den beiden möglichen Betrachtungsweisen zu lenken. Das Lehrbuch gibt hierzu ausführliche Anleitung. In diesem Zusammenhang ist deutlich zu machen, daß die Merkmale des Widerstandsbegriffes präzisiert werden müssen, um den unterschiedlichen Leitungsprozessen gerecht zu werden. Die Analyse des Leitungsvorganges in Halbleitern wird auf den homogenen Stoff (Thermistor) und die einzelne p,n-Grenzschicht beschränkt.
Der Abschnitt über steuerbare Bauelemente wird durch das starke Herausheben des Steuerungsbegriffes gekennzeichnet. Damit lernen die Schüler ein allgemeines Wirkprinzip kennen, das als wesentliche Orientierungsgrundlage für das Verständnis der Arbeitsweise zahlreicher elektronischer Bauelemente und deren Anwendungen dient. Es kommt darauf an, daß die Schüler an den verhältnismäßig wenigen, im Lehrbuch ausgearbeiteten Beispielen erkennen, daß zwischen der Beeinflussung der Stromstärke durch Ändern der Betriebsspannung einerseits und einer solchen durch Ändern einer Steuergröße andererseits ein grundlegender qualitativer Unterschied besteht. Diese Position liefert zugleich ein Ordnungsprinzip für die außerordentlich große Vielfalt der technischen Anwendung elektronischer Bauelemente. Darin liegt auch für die Schüler eine große Hilfe, die aus eigenem Interesse sich über den Unterricht hinaus mit elektronischen Bauelementen beschäftigen.
Im letzten Abschnitt der Stoffeinheit hat der Lehrer die Möglichkeit, aus den im Lehrplan genannten Anwendungen zwei Beispiele auszuwählen. Im Lehrbuch sind alle Beispiele aufgeführt; den Unterrichtshilfen liegt eine mögliche Auswahl zugrunde, die jedoch über das geforderte Minimum hinausgeht. Die Entscheidung muß so frühzeitig getroffen werden, daß bei der Erarbeitung der gesamten Stoffeinheit systematisch auf das Zusammenwirken der Teilerkenntnisse in den Anwendungsbeispielen hingearbeitet wird. In diesem Zusammenhang werden weitere, überaus vielseitige erzieherische Potenzen der Stoffeinheit deutlich. Die militärtechnische, ökonomische, aber auch kulturelle Bedeutung elektronischer Bauelemente ist so umfassend, daß für Motivationen, Übungen und Anwendungen eine reiche Auswahl gegeben ist.
Hierzu sollte der Lehrer auch die Kenntnisse der Schüler aus dem Unterricht in ESP sowie gegebenenfalls Bezüge zur wissenschaftlich-praktischen Arbeit nutzen.

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorganges** Voraussetzungen für elektrische Leitungsvorgänge Energieumwandlungen Elektrische Stromstärke und Spannung	Allgemeines Leitungsmodell (Ph 9) Bau der Stoffe (Ch 8) Lehrgang Elektrotechnik (ESP 10)	DE: Modellexperiment zum allgemeinen Leitungsmodell (PSV 6, V 5.2.8.) Fernsehsendung „Das allgemeine Modell der elektrischen Leitungsvorgänge“ (Ph 9) LB S. 78 bis 82 Wi Ph, S. 232
2. **Elektrischer Widerstand metallischer Leiter** Ohmsches Gesetz und Widerstandsbegriff Widerstandsgesetz Modellmäßige Deutung	Ohmsches Gesetz, Widerstand und Widerstandsgesetz (Ph 8) Metallbindung (Ch 8) Widerstandsmessung (ESP 10)	DE: Spannung-Stromstärke-Kennlinie einer Glühlampe (PSV 6, V 3.1.3.)
3. **Gesetze des unverzweigten und des verzweigten Gleichstromkreises**	Unverzweigter und verzweigter Stromkreis (Ph 8)	LB S. 84/85
4. **Elektrische Meßgeräte im Stromkreis** Schaltung der Meßgeräte Beeinflussung des Stromkreises durch Strom- und Spannungsmesser	Spannungs- und Stromstärkemessung (Ph 8) Drehspulmeßwerk (Ph 9) Meßgeräte und Meßschaltungen (ESP 10)	DE: Einfluß eines Strom- und eines Spannungsmessers auf das Meßergebnis (PSV 6, V 4.1.5. und V 4.2.4.)
5. **Veränderliche Widerstände im Stromkreis** Abhängigkeit des Gesamtwiderstandes, der Stromstärke und der Teilspannungen von der Größe eines stellbaren Widerstandes bei Reihenschaltung von konstantem und stellbarem Widerstand		SE: Beeinflussung des Stromkreises durch einen stellbaren Widerstand

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
6. Zeitverlauf und Kenngrößen des Wechselstromes Zeitverlauf von Spannung und Stromstärke Kenngrößen und Zusammenhänge zwischen ihnen	Wechselspannung und -stromstärke, ihre grafische Darstellung Kenngrößen Gleichungen $u = u_{max} \cdot \sin \omega \cdot t$, $i = i_{max} \cdot \sin \omega \cdot t$, Arbeit und Leistung im Wechselstromkreis (Ph 10)	DE: Ohmscher Widerstand, Spule und Kondensator im Wechselstromkreis Demonstration von Wechselspannungen (PSV 9, V 4.2.1., 4.2.3., 4.2.6.)
7. Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis Definition des ohmschen Widerstandes Gesetze für ohmsche Widerstände Phasenbeziehung zwischen Spannung und Stromstärke	Ohmsches Gesetz, Widerstandsgesetz (Ph 8) Zeitlicher Gleichlauf von Spannungs- und Stromstärkekurve am ohmschen Widerstand (Ph 10)	DE: Ohmsches Bauelement im Gleich- und Wechselstromkreis (PSV 9, V 4.3.4.)
8. Kondensator im Wechselstromkreis Kondensator als Widerstand im Wechselstromkreis Phasenverschiebung Abhängigkeit des kapazitiven Widerstandes von C und f	Kondensator, $C = Q/U$ Abhängigkeit der Kapazität von Fläche, Plattenabstand und Dielektrikum (Ph 9) Kondensator im Wechselstromkreis (Ph 10)	DE: Phasenverschiebung; Abhängigkeit der Stromstärke von C und f (PSV 9, V 4.2.7. und 4.3.4.)
9. Spule im Wechselstromkreis Spule als Widerstand Abhängigkeit des induktiven Widerstandes von L und f Phasenverschiebung	Spule im Wechselstromkreis (Ph 10) Induktivität L Elektromagnetische Induktion (Ph 9, 12)	DE: Spule im Gleich- und Wechselstromkreis (PSV 9, V 4.2.3., V 4.2.4., V 4.3.4.)
10. Besonderheiten im Zusammenwirken der Bauelemente Gesamt- und Teilspannungen sowie Gesamtwiderstand bei der Reihenschaltung von ohmschem, induktivem und kapazitivem Widerstand	Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für den Wechselstromkreis (Ph 10)	DE: Messen von Teilspannungen und Gesamtspannung bei der Reihenschaltung von ohmschem, induktivem und kapazitivem Widerstand
11. Festigung des Wissens über elektrische Leitungsvorgänge Systematisieren des Wissens, Lösen von Aufgaben, Kontrolle		FO für Polylux oder Arbeitsblatt Wi Ph S. 210

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
12. Kennlinien von Glühlampe, Thermistor und Halbleiterdiode Aufnahme von I-U-Kennlinien Vergleich der Kennlinien verschiedener Bauelemente	I-U-Kennlinien von Widerstandsdraht bei ϑ = konstant und bei $\vartheta \neq$ konstant (Glühlampe) I-U-Kennlinie einer Halbleiterdiode (Ph 8 und 9)	SE: Aufnahme der Kennlinie von Glühlampe, Thermistor und Halbleiterdiode
13. Einfluß von Beweglichkeit und Konzentration der wanderungsfähigen Ladungsträger auf den Kennlinienverlauf Erklärung des Kennlinienverlaufs Anwendung von Thermistoren und Halbleiterdioden	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Metallen und Halbleitern (Ph 8) Leitungsvorgänge bei Halbleitern Aufbau und Gleichrichterwirkung einer Halbleiterdiode (Ph 9)	FO für Polylux DE: Temperaturabhängigkeit des Widerstandes eines Thermistors Oszillografische Darstellung der I-U-Kennlinie einer Halbleiterdiode Gleichrichterwirkung einer Halbleiterdiode (PSV 9, V 5.3.1., V 5.3.4.)
14. I-U-Kennlinien und Widerstände von Bauelementen Zusammenhänge zwischen I-U-Kennlinie und Widerständen eines Bauelements Grenzen der Anwendbarkeit des Widerstandsbegriffs	Kenntnisse über den elektrischen Widerstand (Ph 8, 9 und 12)	FO für Polylux
15. Steuerung eines Thermistors I-ϑ-Kennlinie eines Thermistors Anwendungen	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Halbleitern (Ph 9, 12)	FO für Polylux SE: Aufnahme der I-ϑ-Kennlinie eines Thermistors
16. Steuerung einer Triode I_A-U_G-Kennlinie einer Triode Anwendungen	Röhrentriode: Steuerung des Anodenstromes durch die Gitterspannung I_A-U_G-Kennlinie (Ph 9)	FO für Polylux FO „Leitungsvorgänge in Elektronenröhren" DE: Verstärkerwirkung einer Triode (PSV 9, V 5.2.12.)
17. Steuerung eines Transistors Aufbau und Schaltung eines Transistors I_C-I_B-Kennlinie	Transistor: Aufbau, Wirkungsweise der Steuerung in Emitterschaltung (Ph 9)	FO für Polylux DE: Aufnahme der I_C-I_B-Kennlinie eines Transistors (PSV 9, V 5.3.9.)
18. Festigung durch Systematisierung und Anwendung Systematisierung des Wissens über Kennlinien Transistor als Verstärker		FO für Polylux DE: Transistor als Schalter (PSV 9, V 5.3.10.)

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
19. Anwendungen elektronischer Bauelemente I Gleichrichtung von Wechselspannung und Glättung der pulsierenden Gleichspannung Erzeugung ungedämpfter Schwingungen mittels Transistorschaltung		FO für Polylux DE: Gleichrichtung von Wechselspannung und Glättung der pulsierenden Gleichspannung Erzeugung ungedämpfter Schwingungen mittels Transistorschaltung (PSV 9, V 5.3.4. und 5.2.10., PSV 10, V 3.1.8.)
20. Anwendungen elektronischer Bauelemente II Signalverstärkung mittels Transistor		FO für Polylux DE: Signalverstärkung mittels Transistor (PSV 10, V 3.3.13.)
21. Kontrollstunde		

1. Stunde: Allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorganges

Stundenziele

Die Schüler

- vertiefen ihre Einsicht in die Bedeutung der elektrischen Leitungsvorgänge für das Leben der Gesellschaft;
- kennen das allgemeine Modell des elektrischen Leitungsvorganges und seine Rolle bei der Erklärung des Stromflusses in den verschiedenen Stoffen und im Vakuum;
- können die Energieumwandlungen beim elektrischen Leitungsvorgang erläutern;
- kennen die Merkmale der Begriffe Spannung und Stromstärke sowie die Gleichungen zu ihrer Berechnung.

Unterrichtsmittel

PSV 6, V 5.2.8.
2 präparierte Tischtennisbälle an langen Fäden am Stativ
2 präparierte Tischtennisbälle an Isolierstielen (Reagenzgläser)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Bedeutung der elektrischen Leitungsvorgänge (E) **5 min**	Zusammentragen von Beispielen für die Anwendung elektrischer Leitungsvorgänge Orientieren auf die folgenden Stunden (UG)
(2) Voraussetzungen für den elektrischen Leitungsvorgang (W) **15 min**	Wiederholen der Merkmale des allgemeinen Leitungsmodells (DE, UG, TBa)
Voraussetzungen für den elektrischen Leitungsvorgang sind ein elektrisches Feld und wanderungsfähige Ladungsträger im betrachteten Raumbereich.	
(3) Verlauf des elektrischen Leitungsvorganges (E) **10 min**	Erörtern der beim elektrischen Leitungsvorgang stattfindenden Energieumwandlungen (SSA, DE, TBb)
Beim elektrischen Leitungsvorgang wird elektrische Feldenergie in kinetische Energie der Ladungsträger und in magnetische Feldenergie umgewandelt. Die Ladungsträger werden in Richtung des elektrischen Feldes beschleunigt. In Stoffen wird diese zusätzliche Bewegung der Ladungsträger durch Wechselwirkung mit den Gitterbausteinen gehemmt.	
(4) Elektrische Stromstärke und elektrische Spannung (W) **10 min**	Wiederholen der Merkmale und der Definitionsgleichungen für die Begriffe Stromstärke und Spannung (UG, TBc)
Die elektrische Spannung $U = W/Q$ ist eine Voraussetzung für das Fließen eines elektrischen Stromes der Stärke $I = Q/t$. Sie ist stets auf zwei Punkte des elektrischen Feldes bezogen.	
(5) Rolle des allgemeinen Modells zur Erklärung der Leitungsvorgänge in den verschiedenen Stoffen und im Vakuum (W, Z) **5 min**	Herausstellen der Bedeutung des allgemeinen Modells (LV, HA)
Das allgemeine Leitungsmodell gestattet eine Erklärung der vielfältigen elektrischen Leitungsvorgänge und dient der theoretischen Fundierung von Begriffen und Gesetzen.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Es erfolgt zunächst eine Wiederholung des in Klasse 9 behandelten allgemeinen Leitungsmodells. Anhand von Beispielen aus dem Physik-, Chemie- und ESP-Unterricht ist herauszuarbeiten, daß beide Voraussetzungen (elektrisches Feld, wanderungsfähige Ladungsträger) erfüllt sein müssen, um einen elektrischen Leitungsvorgang hervorzurufen. Der Ausdruck „frei bewegliche Ladungsträger" sollte vermieden werden; für Ladungsträger in Stoffen trifft er nicht zu. An Beispielen werden die genannten Voraussetzungen konkretisiert. Dabei sind alle Medien zu berücksichtigen. Das elektrische Feld wird im allgemeinen mit Hilfe einer Spannungsquelle aufgebaut. Es sollte an dieser Stelle ein Hinweis auf den beim elektrostatischen Feld behandelten engen Zusammenhang zwischen den Be-

griffen elektrisches Feld und elektrische Spannung gegeben werden. Wanderungsfähige Ladungsträger können im Stoff vorhanden sein (Metalle, Elektrolyte, homogene Halbleiter mit eingebauten Fremdatomen), in den Raum eingebracht werden (Vakuum) oder aus wanderungsfähigen neutralen Teilchen durch Energiezufuhr entstehen (Ionisation bei Gasen).
Zur Veranschaulichung des allgemeinen Leitungsmodells kann ein DE (PSV 6, V 5.2.8., Teilversuch 2, Abbildungen 5.2.8./7 und 5.2.8./8) durchgeführt werden. Als Ladungsträger sind mit Aluminiumfolie umwickelte oder mit Graphit (Bleistift) bestrichene Tischtennisbälle geeignet, die durch Aufhängen an möglichst langen Fäden „wanderungsfähig" gemacht werden.

(3) Bei der Erörterung des Verlaufs elektrischer Leitungsvorgänge erfolgt eine Erweiterung und Vertiefung des allgemeinen Leitungsmodells, indem Angaben über die Wechselwirkungen zwischen wandernden Ladungsträgern und Bausteinen des jeweiligen Leiters aufgenommen sowie die sich vollziehenden Energieumwandlungen deutlicher akzentuiert werden.
Der Verlauf des Leitungsvorgangs ist im LB (S. 78 bis 79) ausführlich dargestellt und kann von den Schülern selbständig erarbeitet werden. Die Energieumwandlung kann anhand des bereits erwähnten DE veranschaulicht werden. Das Auftreten eines magnetischen Feldes als ständige Begleiterscheinung des Stromflusses wird als Erfahrungstatsache wiederholt. Danach erfolgt eine Konkretisierung auf Leitungsvorgänge in Stoffen, wobei speziell Festkörper betrachtet werden.

(4) Die Aussagen des allgemeinen Modells werden genutzt, um mit den Schülern die bekannten Definitionen der Größen Stromstärke und Spannung zu wiederholen. Der Lehrer kann darauf verweisen, daß sich für $I = \frac{Q}{t}$ auch $I = \frac{Q_+ + Q_-}{t}$ $= I_+ + I_-$ schreiben läßt.
Bei der Wiederholung der Spannungsdefinition sind die im Lehrbuch für die Betrachtung des elektrischen Feldes aus der Sicht der Leitungsvorgänge dargelegten Akzente (vgl. LB S. 80 bis 82) besonders zu beachten.

(5) Am Beispiel des allgemeinen Leitungsmodells wird das Wissen der Schüler über das Wesen und die Funktion von Modellen weiter vertieft. Insbesonders ist hervorzuheben:

- Das Modell widerspiegelt die den Leitungsvorgängen gemeinsamen und wesentlichen Merkmale. Mit seiner Hilfe können die Leitungsvorgänge in verschiedenen Medien erklärt werden.
- Zur Erklärung spezifischer Sachverhalte bei Leitungsvorgängen ist eine Präzisierung des Modells oder sein Ersatz erforderlich. Für genauere Angaben zum Stromfluß in den einzelnen Medien muß der Aufbau der Stoffe beachtet werden. Die Schüler erhalten die HA, sich anhand der Tabelle „Elektrische Leitungsvorgänge" (WiPh, S. 232) einen Überblick über die Leitungsvorgänge zu verschaffen, den „Vorgang der Erzeugung von Ladungsträgern" (2. Zeile der Tabelle) zu erläutern und aus dem Chemieunterricht die verschiedenen Bindungsarten zu wiederholen.

Tafelbild

Allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorganges

Voraussetzungen:
- elektrisches Feld
- wanderungsfähige Ladungsträger im betrachteten Raumbereich.

Verlauf:
- Zusatzbewegung der wanderungsfähigen Ladungsträger in Feldrichtung
- Umwandlung der elektrischen Feldenergie in kinetische Energie der Ladungsträger und magnetische Feldenergie
- Wechselwirkung zwischen Ladungsträgern und Gitterbausteinen

Quantitative Aussagen: $I = \frac{Q}{t}$, $U = \frac{W}{Q}$

a
b
c

Bild 112/1

2. Stunde: Elektrischer Widerstand metallischer Leiter

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, wie das Ohmsche Gesetz auf empirischem Wege gewonnen wird;
- können den Leitungsvorgang in Metallen mit Hilfe des allgemeinen Modells des elektrischen Leitungsvorganges erklären;
- wissen, daß der elektrische Leitungsvorgang auf der Grundlage des allgemeinen Leitungsmodells bzw. der grafischen Darstellung der Zusammenhänge in Form von Kennlinien betrachtet werden kann;
- wissen, daß beide Betrachtungsweisen gleichwertig, für den jeweiligen Zweck aber unterschiedlich geeignet sind.

Unterrichtsmittel

PSV 6, V 3.1.3. (Variante b)
Stellbarer Widerstand (300 Ω)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Leitungsvorgänge im zeitlich konstanten Feld in verschiedenen Medien (K, E) **10 min**	HA (K) Orientieren auf die Ziele der nächsten Stunden (UG, LV)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Wanderungsfähige Ladungsträger werden in den verschiedenen Stoffen und im Vakuum auf spezifische Art und Weise zur Verfügung gestellt. In Metallen sind wanderungsfähige Elektronen vorhanden (Metallbindung).	
(2) Ohmsches Gesetz und Widerstand metallischer Leiter (W) **10 min**	Diskutieren der Gewinnung des Ohmschen Gesetzes (UG, TBa) Erläutern der Merkmale des Begriffes Widerstand (UG)
Für Metalle sind bei konstanter Temperatur Spannung und Stromstärke zueinander proportional. Der für jedes Bauelement charakteristische Quotient U/I kennzeichnet den Einfluß des Leiters auf den Stromfluß. $R = U/I$ wird als elektrischer Widerstand bezeichnet.	
(3) Modellmäßige Deutung des Widerstandes und seiner Temperaturabhängigkeit (E) **10 min**	Erklären der Behinderung der Bewegung der wanderungsfähigen Elektronen (UG) Experimentelles Prüfen der vorhergesagten Temperaturabhängigkeit des Widerstandes einer Glühlampe (DE, TBb)
Der elektrische Widerstand von Metallen wird durch die Wechselwirkung zwischen den wanderungsfähigen Elektronen und den Gitterbausteinen verursacht. Bei Temperaturerhöhung des Leiters wird die Beweglichkeit der Elektronen verkleinert, der Widerstand wird größer.	
(4) Widerstandsgesetz (W) **5 min**	Wiederholen des Zusammenhanges zwischen Widerstand, Materialart, Länge und Querschnitt eines Leiters (UG, TBc)
Für den elektrischen Widerstand gilt bei ϑ = konstant $R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$.	
(5) Betrachtungsweisen der elektrischen Leitungsvorgänge (W, S) **10 min**	Geben eines Überblicks über die phänomenologische und modellmäßige Betrachtung der Leitungsvorgänge; Zusammenfassen der Teilergebnisse (LV, HA)
Elektrische Leitungsvorgänge können phänomenologisch betrachtet oder auf das allgemeine Leitungsmodell zurückgeführt werden.	

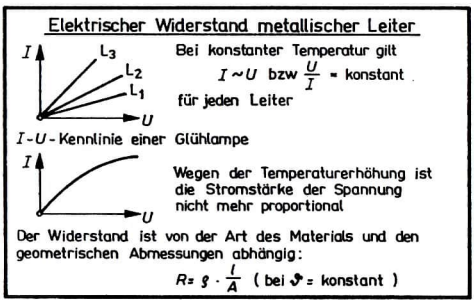
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Die Wiederholung des Ohmschen Gesetzes wird mit einer Diskussion über seine Gewinnung auf empirischem Wege verbunden. Dabei kann folgender Gedankengang an die Schüler herangetragen werden: Durchgeführte Messungen an verschiedenen Bauelementen zeigen, daß bei konstanter Temperatur in jedem Falle Proportionalität zwischen Spannung und Stromstärke besteht. Die Tatsache, daß der Anstieg der Graphen bzw. der Quotient aus U und I (oder aus I und U) zwar konstant, für jedes Bauelement aber verschieden ist, spiegelt eine bestimmte Eigenschaft des Leiters wider. Ein Leiter, der bei gleicher Spannung eine höhere Stromstärke zuläßt, hemmt den Stromfluß weniger als ein anderer Leiter. In der Wissenschaft und Technik ist es üblich, den Kehrwert des im Diagramm betrachteten Anstieges I/U als Widerstand $R = U/I$ zu bezeichnen.

(3) Einen weiteren Schwerpunkt der Stunde bildet die qualitative Erklärung der für den metallischen Leiter geltenden Gesetze mit Hilfe des allgemeinen Modells. Hervorzuheben ist besonders die ständige ungeordnete Bewegung der wanderungsfähigen Elektronen zwischen den Gitterbausteinen. Im elektrischen Feld führen die Elektronen eine zusätzliche Bewegung in Feldrichtung aus. Durch die Wechselwirkung mit den Gitterbausteinen kommt es nicht zu einer ständigen Beschleunigung, sondern es stellt sich eine durchschnittliche Wanderungsgeschwindigkeit $\bar{v}$ ein. Die Größe $\bar{v}$ ist abhängig von der anliegenden Spannung, der Art des Metalls und der Heftigkeit der Gitterschwingungen. Aus diesen Betrachtungen läßt sich voraussagen, daß bei Temperaturerhöhung die Beweglichkeit der Ladungsträger sinkt und damit die Stromstärke nicht mehr proportional der Spannung ist. Ein DE (PSV 6, V 3.1.3., Variante b) bestätigt diese Prognose. Eine quantitative Betrachtung kann in Anlehnung an LBA 80/1 durchgeführt werden.

(5) In einem LV werden die Zweckmäßigkeit und das Wesen der beiden Betrachtungsweisen der elektrischen Leitungsvorgänge deutlich gemacht. Dabei wird herausgestellt, daß ein solches Vorgehen auch in anderen Teilgebieten der Physik üblich und bei der weiteren Betrachtung der Leitungsvorgänge erforderlich ist. Als HA sind die Fragen 2 und 3, S. 81, und Aufgabe 1, LB S. 153, geeignet.

Tafelbild



a
b
c

Bild 114/1

3. Stunde: Gesetze des unverzweigten und des verzweigten Gleichstromkreises

Stundenziele

Die Schüler

— kennen die Gesetze über die Spannungen, Stromstärken und Widerstände im unverzweigten und verzweigten Stromkreis;

– können einfache Aufgaben zur Berechnung von Spannungen, Stromstärken und Widerständen im unverzweigten und verzweigten Stromkreis lösen;
– können die Spannungs- und Stromverteilung im Gleichstromkreis auf das allgemeine Modell zurückführen.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Stromstärke, Spannung und Widerstand im unverzweigten Stromkreis (W) **20 min**	HA (K) Angeben der Zielorientierung, Wiederholen der Gesetze und Diskutieren des Vorgehens bei ihrer Ermittlung, Diskutieren von Möglichkeiten zur Prüfung der Gesetze, Lösen von Aufgaben (UG, SSA, TBa)
Im unverzweigten Stromkreis gelten folgende Gesetze: $I_g = I_1 = I_2$; $U_g = U_1 + U_2$; $R_g = R_1 + R_2$.	
(2) Stromstärke, Spannung und Widerstand im verzweigten Stromkreis (W) **15 min**	Wiederholen der Gesetze und Diskutieren des Vorgehens bei ihrer Ermittlung, Diskutieren von Möglichkeiten zur Prüfung des Stromstärkegesetzes Lösen von Aufgaben (UG, SSA, TBb)
Im verzweigten Stromkreis gelten folgende Gesetze: $I_g = I_1 + I_2$; $U_g = U_1 = U_2$; $\frac{1}{R_g} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.	
(3) Gesetze des unverzweigten und verzweigten Stromkreises mit mehreren Bauelementen (W, E) **10 min**	Vergleichen der Gesetze, Hinweisen auf Verallgemeinerung für mehrere Bauelemente, Hinweisen auf die Gültigkeit im Gesamt- und im Teilstromkreis (UG, LV, HA)
Die Gesetze für die Stromstärken, Spannungen und Widerstände gelten sowohl für den Gesamtstromkreis als auch für dessen Teile.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

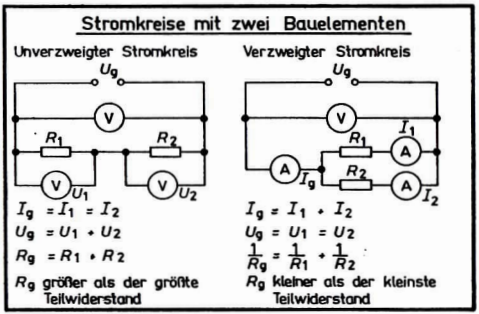
Da die zu behandelnden Gesetze aus der Klasse 8 bekannt sind, stehen in dieser Stunde das Ableiten und Erklären der Aussagen sowie das Lösen geeigneter Aufgaben im Vordergrund. Je nach Klassensituation können auch DE oder SE als Bestätigungsexperimente durchgeführt werden.

(1) Für das Ermitteln der Gesetze im unverzweigten Stromkreis gibt es mehrere Möglichkeiten. Da die Gewinnung der Gleichung für die Spannungsverteilung die höchsten Anforderungen an die Schüler stellt, wird auf das Vorgehen orientiert, wie es im Lehrbuch (S. 84) skizziert ist. Die Schüler sollten veranlaßt werden, Schaltpläne zur Prüfung der abgeleiteten Gesetze anzugeben (vgl. auch Frage 2, LB S. 85).

(2) Bei der Wiederholung der Gesetze des verzweigten Stromkreises kann der im LB S. 85 dargestellte Weg gegangen werden. Die Angabe von Prüfungsmöglichkeiten für die gefundenen Gesetze sollte auf die Stromstärken beschränkt werden.

(3) Die wiederholten Gesetze werden anhand einer Übersicht (TB) verglichen. Besonderer Wert ist auf das Lösen der Aufgabe 9, S. 153 des LB, zu legen, weil hier die Relationen zwischen Teil- und Gesamtwiderstand klar herausgearbeitet werden müssen.
Abschließend sollte vom Lehrer ein Hinweis auf die Verallgemeinerung der Gesetze für mehrere ohmsche Widerstände gegeben werden.
Die Aufgaben 10 und 11, S. 153, dienen als HA der Vorbereitung auf die nächste Stunde. Außerdem sollen die Schüler zur nächsten Stunde einen Kurzvortrag über den Aufbau eines Drehspulmeßgerätes anhand LB Ph, Kl. 9, S. 94, und WiPh, S. 209, vorbereiten.

Tafelbild



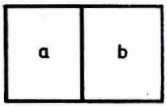


Bild 116/1

4. Stunde: Elektrische Meßgeräte im Stromkreis

Stundenziele

Die Schüler

- wenden die Gesetze des unverzweigten und verzweigten Stromkreises auf die Schaltung von Strom- und Spannungsmesser im Stromkreis an;
- gewinnen die Einsicht, daß die wahren Werte für die Spannung und die Stromstärke durch Wahl geeigneter Meßgeräte und durch theoretische Überlegungen mit der notwendigen Genauigkeit ermittelbar sind;
- kennen die strom- und spannungsrichtige Schaltung von Meßgeräten.

Unterrichtsmittel

PSV 6, V 4.1.5.
V 4.2.4.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Schaltung von Meßgeräten Innenwiderstand von Meßgeräten (W, E) **10 min**	HA (K) Wiederholen der Kenntnisse über die Schaltung und den Bau von Meßgeräten (UG, TBa) Bewußtmachen der Notwendigkeit der Untersuchung des Einflusses von Meßgeräten (Innenwiderstand) auf den Stromkreis (LV)
Strommesser werden zu dem interessierenden Bauelement in Reihe, Spannungsmesser zu dem interessierenden Bauelement parallel geschaltet. Die Meßgeräte haben einen bestimmten Innenwiderstand.	
(2) Beeinflussung eines Stromkreises durch Einschalten eines Strommessers (A) **15 min**	Herleiten der Beeinflussung eines Stromkreises durch Einschalten eines Strommessers aus bekannten Gesetzen (SSA, UG, TBb) Durchführen eines Bestätigungsexperiments (DE)
Die durch Einschalten eines Strommessers hervorgerufenen Beeinflussungen eines Stromkreises sind gering, wenn der Innenwiderstand des Strommessers klein gegenüber den übrigen Widerständen des Stromkreises ist.	
(3) Beeinflussung eines Stromkreises durch Einschalten eines Spannungsmessers (A) **10 min**	Diskutieren der Beeinflussung eines Stromkreises durch Einschalten eines Spannungsmessers (UG, TBc) Durchführen von Bestätigungsexperimenten (DE, HA)
Die durch Einschalten eines Spannungsmessers hervorgerufenen Beeinflussungen eines Stromkreises sind gering, wenn der Innenwiderstand des Spannungsmessers groß gegenüber den übrigen Widerständen des Stromkreises ist.	
(4) Strom- und spannungsrichtige Schaltung (E) **10 min**	Erarbeiten der Schaltmöglichkeiten beim gleichzeitigen Einschalten von Strom- und Spannungsmesser in den Stromkreis (UG, TBd)
Das gleichzeitige Einschalten von Strom- und Spannungsmesser in einen Stromkreis kann in stromrichtiger oder in spannungsrichtiger Schaltung erfolgen.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

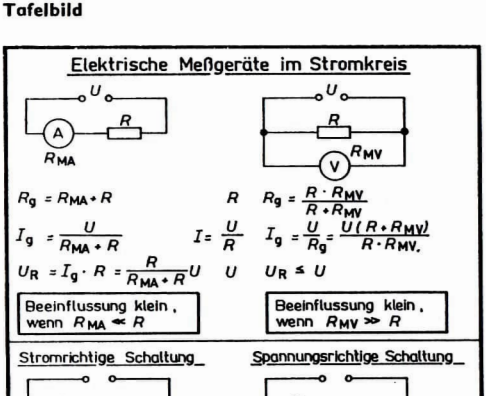
(1) Im Mittelpunkt der Stunde steht die Frage, unter welchen Bedingungen die Beeinflussung durch den Innenwiderstand der Meßgeräte möglichst gering ist.

(2) Zunächst wird untersucht, wie ein Stromkreis durch Einschalten eines Strommessers beeinflußt wird. Dabei kann deduktiv vorgegangen werden, indem die Schüler auf den gegebenen Fall die schon behandelten Gesetze anwenden.

Aus methodischen Gründen ist es zweckmäßig, ein Bestätigungsexperiment (PSV 6, V 4.1.5.) durchzuführen.

(3) Bei der Erörterung der Beeinflussung eines Stromkreises durch Einschalten eines Spannungsmessers kann analog vorgegangen werden. Dabei ist es zweckmäßig, verschiedene Fälle (vgl. PSV 6, V 4.2.4.) zu unterscheiden.
Für beide Fälle sollte je ein Bestätigungsexperiment durchgeführt werden.
Im Interesse der Praxisverbundenheit ist es zweckmäßig, den Schülern die Innenwiderstände von gebräuchlichen elektrischen Meßgeräten zu nennen.
Als HA kann den Schülern Aufgabe 12 des LB S. 154 gestellt werden.

Tafelbild



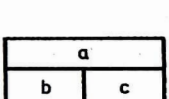


Bild 118/1

5. Stunde: Veränderliche Widerstände im Stromkreis

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß es in der Technik vielfach notwendig ist, die einen Stromkreis charakterisierenden Größen zu beeinflussen;
- können die Gesetze des unverzweigten Stromkreises auf den Fall einer Reihenschaltung von konstantem Widerstand R_k und stellbaren Widerstand R_s anwenden;

— erkennen, daß sich bei einer solchen Reihenschaltung in Abhängigkeit von der Größe von R_s der Gesamtwiderstand, die Stromstärke sowie die an den Widerständen R_k und R_s anliegenden Teilspannungen ändern;

— sind in der Lage, abgeleitete Beziehungen durch ein Experiment zu bestätigen.

Unterrichtsmittel

Konstanter Widerstand (51 Ω)
Stellbarer Widerstand (50 Ω)
Schülerstromversorgungsgerät SVG
1 bis 2 Meßinstrumente „Polytest“

} nach Anzahl der Schülergruppen

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Möglichkeiten der Beeinflussung eines Stromkreises (W, E) **5 min**	HA (K) Herausarbeiten der Notwendigkeit und von Möglichkeiten der Beeinflussung eines Stromkreises (UG)
Eine einfache Möglichkeit der Beeinflussung eines Stromkreises besteht im Verändern eines stellbaren Widerstandes in Reihenschaltung mit einem konstanten Widerstand.	
(2) Gesamtwiderstand, Gesamtstromstärke sowie Teilspannungen bei Reihenschaltung (E) **15 min**	Anwenden der Gesetze des unverzweigten Stromkreises auf den gegebenen Fall (SSA, UG, TBa, b) Interpretieren der erhaltenen Gleichungen (SSA, UG)
Gesamtwiderstand, Stromstärke und Teilspannungen an den Widerständen ändern sich in Abhängigkeit von der Größe des stellbaren Widerstandes.	
(3) Bestätigung der Abhängigkeit von Stromstärke und Teilspannungen von der Größe des stellbaren Widerstandes (A) **25 min**	Durchführen und Auswerten eines Schülerexperiments (SE, HA)
Das Experiment bestätigt: Wenn sich von zwei in Reihe geschalteten Widerständen eines Stromkreises einer verändert, so verändern sich neben dem Gesamtwiderstand die Stromstärke und beide Teilspannungen.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

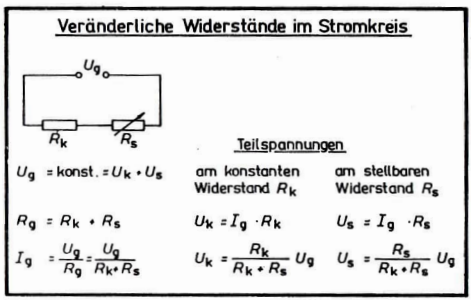
(1) Ausgehend von der Frage, wie man in einem einfachen Stromkreis eine für viele technische Anwendungen erforderliche Spannungsregulierung erreichen kann, werden mit den Schülern mögliche Schaltungen diskutiert, gegebenenfalls auch demonstriert. Hierzu eignet sich die Steuerung der Helligkeit einer Glühlampe. Als einfache Möglichkeit der Beeinflussung eines Stromkreises wird der Fall der Reihen-

schaltung eines konstanten Widerstandes R_k und eines stellbaren Widerstandes R_s herausgestellt.

(2) In den Mittelpunkt wird folgende Frage gestellt: Wie wirkt sich die Veränderung von R_s zwischen 0 und seinem Maximalwert auf den Gesamtwiderstand, die Stromstärke und die an den Widerständen R_k und R_s anliegenden Teilspannungen aus? Die Spannung der Spannungsquelle U_g wird als konstant vorausgesetzt.
Auf theoretischem Wege gelangen die Schüler zu quantitativen Formulierungen (TB). Besonderer Wert ist auf die **Interpretation** der Gleichungen zu legen. Dabei ist in jedem Fall herauszuarbeiten, wie sich der Gesamtwiderstand, die Stromstärke und die Teilspannungen verändern, wenn R_s beispielsweise vergrößert wird (Tendenz der Veränderungen).
In Vorbereitung auf das Schülerexperiment können die Betrachtungen auch am Beispiel $R_s = 50\ \Omega$ und $R_k = 51\ \Omega$ durchgeführt werden, und es kann erörtert werden, in welchen Grenzen sich in diesem Fall der Gesamtwiderstand, die Stromstärke und die Teilspannungen variieren lassen.

(3) Im Mittelpunkt des SE stehen die Abhängigkeit der Stromstärke I_g von R_s sowie die Abhängigkeit der Teilspannung U_s von R_s.
Die Schüler arbeiten hierbei nach der Anleitung in „Schülerexperimente Physik Kl. 11/12". In Auswertung des Schülerexperiments sollte noch einmal auf den für die Elektronik wesentlichen Sachverhalt aufmerksam gemacht werden, daß sich bei Veränderung **eines** von zwei in Reihe geschalteten Widerständen die Teilspannungen an **beiden** Widerständen ändern. Als HA kann die Aufgabe 6 der Arbeitsanweisung gestellt werden. Außerdem bereiten die Schüler einen Kurzvortrag zum Thema „Erzeugung sinusförmiger Wechselspannung" vor.

Tafelbild



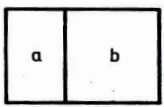


Bild 120/1

6. Stunde: Zeitverlauf und Kenngrößen des Wechselstromes

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß Widerstandsdraht im Gleich- und Wechselstromkreis gleiche, Spule und Kondensator dagegen unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes haben;
- kennen die grafische Darstellung von sinusförmiger Wechselspannung und Wechselstromstärke sowie die Begriffe Momentanwert, Maximalwert, Effektivwert, Periode, Frequenz, Kreisfrequenz und können diese erläutern;
- kennen die mathematischen Zusammenhänge zwischen den Kenngrößen des Wechselstromes;
- sind in der Lage, aus grafischen Darstellungen Kenngrößen zu ermitteln bzw. bei gegebenen Kenngrößen grafische Darstellungen zu zeichnen.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 4.2.1.
V 4.2.3.
V 4.2.6.
Katodenstrahloszillograf

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Ohmscher Widerstand, Spule und Kondensator im Gleich- und Wechselstromkreis (W) **10 min**	HA (K) Demonstrieren und Herausarbeiten der unterschiedlichen Eigenschaften verschiedener Bauelemente bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes im Gleich- und Wechselstromkreis (DE, UG)
Widerstandsdraht zeigt im Gleich- und Wechselstromkreis gleiche, Spule und Kondensator zeigen unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes.	
(2) Zeitverlauf von Wechselspannung und Wechselstromstärke Kenngrößen des Wechselstromes und Zusammenhänge zwischen ihnen (W) **20 min**	Demonstrieren von Wechselspannungen (sinus- und nichtsinusförmig) mit Hilfe eines Katodenstrahloszillografen (DE) Wiederholen der Erzeugung sinusförmiger Wechselspannung (SV) Grafisches Darstellen von Wechselspannung und Wechselstromstärke Wiederholen bzw. Einführen der Kenngrößen des Wechselstromes und der Zusammenhänge zwischen ihnen (UG, TBa, b)
Kenngrößen des sinusförmigen Wechselstromes sind: Maximalwert, Effektivwert, Periode, Frequenz, Kreisfrequenz. Gleichungen: $u = u_{max} \cdot \sin \omega \cdot t$, $i = i_{max} \cdot \sin \omega \cdot t$, $U \approx 0{,}7 \cdot u_{max}$, $I \approx 0{,}7 \cdot i_{max}$	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Festigung durch Lösen von Aufgaben 15 min	Lösen von Aufgaben (SSA, HA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) In den vorhergehenden Stunden wurden die Leitungsvorgänge unter zwei Einschränkungen betrachtet:

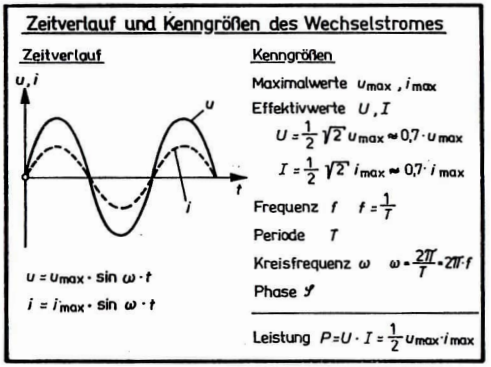
a) Es liegt ein zeitlich konstantes elektrisches Feld vor.
b) Die Bauelemente sind metallische Leiter (Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger haben bei konstanter Temperatur konstante Werte).

Im folgenden wird die erste Einschränkung aufgegeben und der für die Technik überaus wichtige Fall eines sich periodisch ändernden Feldes (Wechselspannung) angenommen.
Durch einfache Versuche (PSV 9, V 4.2.1., 4.2.3., 4.2.6.) demonstriert der Lehrer die Eigenschaften von Widerstandsdraht, Spule und Kondensator bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes im Gleich- und Wechselstromkreis. Die in PSV 9 beschriebenen Versuche können hierzu vereinfacht aufgebaut werden. Es kommt an dieser Stelle nur darauf an, den Schülern die auftretenden Besonderheiten, z.B. durch Messen der Stromstärke im Gleich- und Wechselstromkreis bei konstanter Spannung, bewußtzumachen. Aus den DE ergibt sich die Zielstellung und Motivierung für die nächsten Stunden: Es sollen die Leitungsvorgänge und Gesetze im Wechselstromkreis (elektrisches Wechselfeld) mit Widerstandsdraht (ohmschem Widerstand), Kondensator und Spule genauer untersucht werden. Hervorzuheben ist die große Bedeutung dieser Bauelemente für die Technik und auch für das tägliche Leben. Rundfunkgeräte, Fernsehapparate, Zündanlagen bei Kraftfahrzeugen und vieles andere wären ohne solche Bauelemente undenkbar.

(2) Die in Klasse 10 behandelten Kenngrößen des Wechselstromes werden wiederholt, die Beziehungen $U = \frac{1}{2}\sqrt{2} \cdot u_{max} \approx 0{,}7 \cdot u_{max}$ und $I = \frac{1}{2}\sqrt{2}\, i_{max} \approx 0{,}7 \cdot i_{max}$ neu eingeführt. Diese Beziehungen sind nicht herzuleiten, sondern den Schülern zu geben. Auf den Begriff Phase sollte hingewiesen werden.
Besonderer Wert ist auf die exakte Deutung der Kenngrößen zu legen. Dabei ist es zweckmäßig, die Erläuterungen mit konkreten Beispielen zu verbinden, also zum Beispiel den im Haushalt verwendeten Wechselstrom in die Betrachtungen einzubeziehen.

(3) Der letzte Teil der Stunde dient der Festigung des Wissens der Schüler durch Lösen von Aufgaben. Dabei steht die SSA im Vordergrund. Die Aufgaben können dem LB entnommen werden (Fragen 1 und 2 LB S. 89; Aufg. 14, 15, 16).
Aus ihnen kann auch die HA ausgewählt werden.

Tafelbild



a	b

Bild 123/1

7. Stunde: Ohmscher Widerstand im Wechselstromkreis

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß ein Widerstand, der im Gleich- und Wechselstromkreis die gleichen Eigenschaften bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes zeigt, als ohmscher Widerstand bezeichnet wird;
- können das Ohmsche Gesetz und das Widerstandsgesetz auf ohmsche Bauelemente im Gleich- und Wechselstromkreis anwenden;
- können das allgemeine Modell elektrischer Leitungsvorgänge auf den Fall eines ohmschen Widerstandes im elektrischen Wechselfeld bei sinusförmigem Zeitverlauf anwenden;
- gewinnen die Erkenntnis, daß im Wechselstromkreis bei ohmschen Widerständen die gleichen Gesetze wie im Gleichstromkreis gelten und keine Phasenverschiebung im Zeitablauf von Spannung und Stromstärke auftritt.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 4.3.4.
Stromversorgungsgerät (10 V≃)
Strommesser (0,5 A≃; 10 mA ≃; 100 mA≃)
Spannungsmesser (10 V≃)
Stellbarer Widerstand (50 Ω)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Einfluß eines ohmschen Widerstandes auf die Stromstärke im Gleich- und Wechselstromkreis (W) **10 min**	HA (K) Zeigen, daß bei Widerstandsdraht im Gegensatz zu Kondensator und Spule kein Unterschied bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes zwischen Gleich- und Wechselstromkreis feststellbar ist (DE, UG, TBa) Präzisieren des Begriffes ohmscher Widerstand (UG)
Ein ohmsches Bauelement hat im Gleich- und Wechselstromkreis den gleichen Widerstand.	
(2) Gesetze für einen ohmschen Widerstand im Gleich- und Wechselstromkreis (E) **20 min**	Herausarbeiten, daß bezüglich eines ohmschen Widerstandes im Gleich- und Wechselstromkreis die gleichen Gesetze gelten (UG) Bestimmen eines ohmschen Widerstandes aus verschiedenen Werten (Effektivwert, Maximalwert, Momentanwert) von Spannung und Stromstärke (SSA, TBb)
Für einen ohmschen Widerstand gelten im Gleich- und Wechselstromkreis die gleichen Gesetze.	
(3) Phasenbeziehungen im Zeitablauf von Spannung und Stromstärke am ohmschen Widerstand (W, E) **15 min**	Anwenden des allgemeinen Modells elektrischer Leitungsvorgänge auf den Fall eines ohmschen Widerstandes im Wechselstromkreis (UG) Durchführen eines Bestätigungsexperiments zum Nachweis der Phasengleichheit beim ohmschen Widerstand (DE, TBc, HA)
An einem ohmschen Widerstand im Wechselstromkreis tritt keine Phasenverschiebung im Zeitablauf von Spannung und Stromstärke auf.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Im Mittelpunkt dieser Stunde steht die Untersuchung der Eigenschaften eines Widerstandsdrahtes. Vergleichsweise werden auch Kondensator und Spule in die Betrachtungen einbezogen. Ausgangspunkt bildet ein DE (Schaltung nach LBA 90/1). Der Begriff ohmscher Widerstand wurde schon in den vorhergehenden Stunden verwendet. Nun wird präzisiert: Einen Widerstand, der im Gleich- und Wechselstromkreis gleiche Eigenschaften bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes zeigt, nennt man ohmschen Widerstand.
Ausgehend von den in Klasse 10 von den Schülern erworbenen Kenntnissen sollte darauf hingewiesen werden, daß ein ohmscher Widerstand keine merkliche Kapazität und Induktivität hat.

(2) Im UG wird wiederholt, daß im Gleichstromkreis ein ohmscher Widerstand bei ϑ = konstant durch die Gleichungen $R = U/I$ bzw. $R = \varrho \cdot l/A$ vollständig beschrieben wird. Daran kann sich die Frage anschließen, ob diese Gleichungen auch für einen ohmschen Widerstand im Wechselstromkreis gelten.
Es bietet sich an, deduktiv vorzugehen und nachzuweisen, daß man für jedes beliebige Wertepaar U, $I \neq 0$ den gleichen Quotienten U/I = konstant erhält. Die Schüler sind darauf hinzuweisen, daß man aus Gründen der Zweckmäßigkeit (Anzeige der Meßgeräte) meist mit den Effektivwerten arbeitet. An dieser Stelle

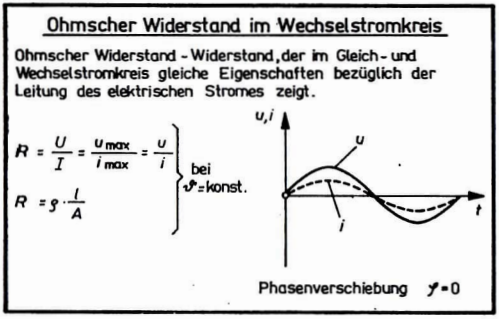
wird die Phasengleichheit von Spannung und Stromstärke vorausgesetzt. Diese Tatsache sollte aber hier nicht in den Vordergrund gerückt werden.
Informatorisch wird den Schülern mitgeteilt, daß das Widerstandsgesetz sowie die Gesetze für Parallel- und Reihenschaltung von ohmschen Widerständen im Gleich- und Wechselstromkreis gleichermaßen gültig sind.

(3) Die Schüler werden darauf orientiert, daß bei der Schaltung von Bauelementen in den Wechselstromkreis die Untersuchung der gegenseitigen Lage von Spannungs- und Stromstärkekurve durchgeführt werden muß, da diese Lage zum Beispiel für die Leistung des Wechselstromes und für viele Anwendungen von großer Bedeutung ist. Der Lehrer kann dabei auf Kenntnisse der Schüler aus Kl. 10 zurückgreifen.
Das weitere Vorgehen kann in verschiedener Weise erfolgen. Eine Möglichkeit besteht darin, unter Anwendung des allgemeinen Leitungsmodells herauszuarbeiten, daß die Leitungselektronen mit ihrer gerichteten Bewegung (Strom) praktisch sofort den periodischen Feldstärkeschwankungen folgen, da sich das Feld mit sehr großer Geschwindigkeit (nahe c) ausbreitet. Daraus folgt unmittelbar die Phasengleichheit von Spannungs- und Stromstärkekurve am ohmschen Bauelement. Das kann anschließend durch ein DE (PSV 9, V 4.3.4.) bestätigt werden. Vergleichsweise sollte die Phasenverschiebung an Spulen und Kondensatoren gezeigt werden.
Eine andere Möglichkeit besteht darin, im DE die Phasengleichheit bzw. Phasenverschiebung zu zeigen und anschließend diese Erscheinung für den ohmschen Widerstand mit Hilfe des allgemeinen Leitungsmodells zu erklären.
In Vorbereitung der nächsten Stunde wird den Schülern als HA gestellt: Wiederholen Sie:

- Definition der Kapazität eines Kondensators;
- Abhängigkeit der Kapazität vom Bau des Kondensators;
- Arten von Kondensatoren.
  (Lit.: LB Ph Kl. 9, S. 77 bis 81
  WiPh, S. 191 bis 192)

Bereiten Sie dazu einen Kurzvortrag vor!

Tafelbild



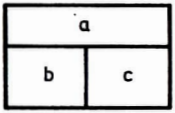


Bild 125/1

8. Stunde: Kondensator im Wechselstromkreis

Stundenziele

Die Schüler

- können das Zustandekommen des Stromflusses durch einen Kondensator im Wechselstromkreis mit Hilfe ihrer Kenntnisse über das allgemeine Leitungsmodell und den Bau von Kondensatoren erklären;
- wissen, daß der kapazitive Widerstand von der Kapazität des Kondensators und der Frequenz der Wechselspannung abhängt;
- verstehen die Erklärung der Abhängigkeit des kapazitiven Widerstandes von der Kapazität und der Frequenz der Wechselspannung mit Hilfe des allgemeinen Leitungsmodells;
- gewinnen Einsichten über die praktische Bedeutung von kapazitiven Widerständen.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 4.2.7.
V 4.3.4.
Universalgenerator UVG 2

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Kondensator als Widerstand im Wechselstromkreis (W) **15 min**	HA (K) Anwenden der Kenntnisse über das allgemeine Leitungsmodell und den Bau eines Kondensators auf den Fall eines Kondensators im Gleich- und Wechselstromkreis (SSA, UG)
Ein Kondensator im Wechselstromkreis wird als kapazitiver Widerstand bezeichnet. Das Fließen eines elektrischen Stromes läßt sich mit Hilfe des allgemeinen Leitungsmodells erklären.	
(2) Abhängigkeit des kapazitiven Widerstandes von der Kapazität des Kondensators und der Frequenz der angelegten Wechselspannung (E) **15 min**	Untersuchen der Abhängigkeit der Stromstärke von C und f (DE, TBa) Deuten der Ergebnisse der DE (UG) Formulieren der Gesetze für den kapazitiven Widerstand; Bewußtmachen ihrer Bedeutung für die Praxis (LV, TBb, HA)
Der kapazitive Widerstand ist um so größer, je kleiner die Kapazität des Kondensators und die Frequenz der angelegten Wechselspannung sind. Es gilt: $X_C = \frac{U}{I}$ und $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ Die Frequenzabhängigkeit des kapazitiven Widerstandes ist für die Nachrichtentechnik von großer Bedeutung.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Phasenverschiebung zwischen Spannungs- und Stromstärkekurve (E) 15 min	Diskussion markanter Werte für Spannung und Stromstärke am Kondensator im Wechselstromkreis (UG, SSA) Durchführen eines Bestätigungsexperiments (DE, TBc)
An einem Kondensator im Wechselstromkreis tritt zwischen Spannungs- und Stromstärkekurve eine Phasenverschiebung von $\pi/2$ auf.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

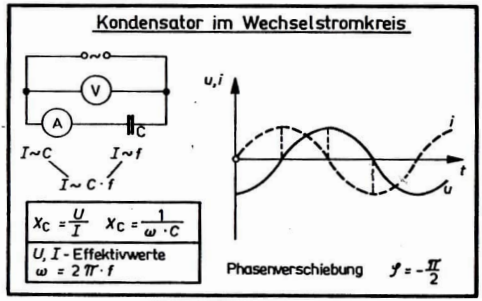
(1) Ausgangspunkt ist das DE, das zu Beginn der vorhergehenden Stunde durchgeführt wurde. Mit Hilfe der Kenntnisse der Schüler über das allgemeine Leitungsmodell und über Kondensatoren soll das Fließen eines Stromes beim Anlegen einer Wechselspannung an einen Kondensator erklärt werden. Dabei ist herauszuarbeiten:

- Beim Anlegen einer Gleichspannung an einen Kondensator fließt nur kurzzeitig ein Ladestrom.
- Beim Anlegen einer Wechselspannung an einen Kondensator spielen sich außerhalb des Kondensators im Prinzip die gleichen Vorgänge wie im Stromkreis mit ohmschem Widerstand ab.
- Im Kondensator kommt es aber im Unterschied zum ohmschen Widerstand zu Konzentrationsschwankungen elektrischer Ladungen, zu einem ständigen Auf- und Entladen des Kondensators.

(2) Die Herleitung der Gleichungen für den kapazitiven und den induktiven Widerstand kann empirisch oder theoretisch erfolgen (vgl. dazu auch die Vorbemerkungen zur Stoffeinheit). Der theoretische Weg ist im LB ausführlich dargestellt, der empirische Weg nachfolgend skizziert.
Den Ausgangspunkt bilden halbquantitative DE (entsprechend PSV 9, V 4.2.7. oder mit Hilfe des Universalgenerators UVG 2). Die beiden Zusammenhänge $I \sim C$ und $I \sim f$ werden den Schülern mit dem Hinweis auf zahlreich durchgeführte Messungen gegeben und mit Hilfe des allgemeinen Leitungsmodells gedeutet. Anschließend werden die Gesetze für den kapazitiven Widerstand $X_C = U/I$ und $X_C = 1/\omega \cdot C$ mitgeteilt und interpretiert. In diesem Zusammenhang sind den Schülern erste Einsichten in die Bedeutung der Frequenzabhängigkeit des kapazitiven Widerstandes für die Nachrichtentechnik zu vermitteln (LV). Als HA können die Frage 2, LB S. 93, und Aufgabe 1, LB S. 154, gestellt werden.

(3) Eine Weiterführung des Vergleichs zwischen ohmschem Widerstand und Kondensator führt zu der Frage nach dem Zeitverlauf von Spannung und Stromstärke am Kondensator im Wechselstromkreis.
Zur Beantwortung der Frage werden markante Werte der Spannung zwischen den Kondensatorplatten und der Stromstärke beim Auf- und Entladen des Kondensators betrachtet. Die Größe der Phasenverschiebung kann auch auf theoretischem Wege hergeleitet werden (vgl. LB). In jedem Falle sollte ein Bestätigungsexperiment (PSV 9, V 4.3.4.) durchgeführt werden. In den Mittelpunkt des Unterrichts ist hier zunächst nur das Auftreten einer Phasenverschiebung von $\pi/2$ zu stellen; die gegenseitige Lage von Spannungs- und Stromstärkekurve wird beim Zusammenwirken verschiedener Bauelemente ausführlich betrachtet.

Tafelbild



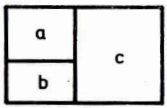


Bild 128/1

9. Stunde: Spule im Wechselstromkreis

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß bei U = konstant in einem Wechselstromkreis mit Spule ein kleinerer Strom fließt als in einem Gleichstromkreis mit Spule;
- wissen, daß der induktive Widerstand von der Induktivität der Spule und der Frequenz der angelegten Wechselspannung abhängt;
- erkennen die Verschiedenheit der Phasenverschiebung an einer Spule im Wechselstromkreis im Vergleich zu einem Kondensator und einem ohmschen Widerstand.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 4.2.3.
V 4.2.4.
V 4.3.4.
Universalgenerator UVG 2

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Spule als Widerstand im Wechselstromkreis (W) **10 min**	HA (K) Demonstrieren der unterschiedlichen Eigenschaften einer Spule im Gleich- und Wechselstromkreis und Erklären der Eigenschaften im Wechselstromkreis mit Hilfe der Gesetze der elektromagnetischen Induktion (DE, UG)

Stundengliederung	Tätigkeiten der Lehrers und der Schüler
Eine Spule im Wechselstromkreis wird als induktiver Widerstand bezeichnet. Das Auftreten dieses Widerstandes läßt sich mit Hilfe des Induktionsgesetzes und des Lenzschen Gesetzes erklären.	
(2) Abhängigkeit des induktiven Widerstandes von der Induktivität der Spule und der Frequenz der angelegten Wechselspannung (E) **25 min**	Untersuchen der Abhängigkeit des induktiven Widerstandes von L und f (DE, TBa, b) Erklären der Untersuchungsergebnisse mit Hilfe des Induktionsgesetzes und des Lenzschen Gesetzes (UG, LV)
Der induktive Widerstand ist um so größer, je größer die Induktivität der Spule und die Frequenz der angelegten Wechselspannung sind. Es gilt: $X_L = \frac{U}{I}$ (bei $X_L \gg R$); $X_L = \omega \cdot L$.	
(3) Phasenverschiebung zwischen Spannungs- und Stromstärkekurve an einer Spule im Wechselstromkreis (E, S) **10 min**	Demonstrieren der Phasenverschiebung (DE, TBc) Vergleichen der Phasenverschiebungen bei ohmschem Widerstand, Kondensator und Spule im Wechselstromkreis (UG, HA)
An einer Spule im Wechselstromkreis tritt zwischen Spannungs- und Stromstärkekurve eine Phasenverschiebung von $\pi/2$ auf. Die gegenseitige Lage der Kurven ist der beim Kondensator festgestellten entgegengesetzt.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) In Auswertung des DE (PSV 9, V 4.2.3.) ist herauszuarbeiten:

- Beim Anlegen einer Gleichspannung setzt der Draht der Spule dem Strom einen Widerstand entgegen. Die Spule hat einen bestimmten ohmschen Widerstand. Er ist in der Regel klein gegenüber dem Wechselstromwiderstand.
- Beim Anlegen einer Wechselspannung ist der ohmsche Widerstand ebenfalls vorhanden.
  Außerdem sind in diesem Falle alle Bedingungen für die elektromagnetische Induktion in der Spule (Selbstinduktion) erfüllt. Nach dem Lenzschen Gesetz ist die resultierende Spannung kleiner als die angelegte und demzufolge auch die Stromstärke kleiner als bei gleichen Bedingungen im Gleichstromkreis. Die Spule bildet einen zusätzlichen Widerstand, der als induktiver Widerstand X_L bezeichnet wird.

(2) Das weitere Vorgehen kann in analoger Weise wie beim Kondensator (siehe 8. Stunde) erfolgen.
Die Gleichung $X_L = \omega \cdot L$ wird auf theoretischem oder empirischem Wege hergeleitet, die Gleichung $X_L = U/I$ gegeben. Es ist deutlich darauf hinzuweisen, daß die letztere Gleichung nur dann anwendbar ist wenn $R \ll X_L$. Abschließend können die Schüler zur Übung Aufg. 27, LB S. 154, lösen.

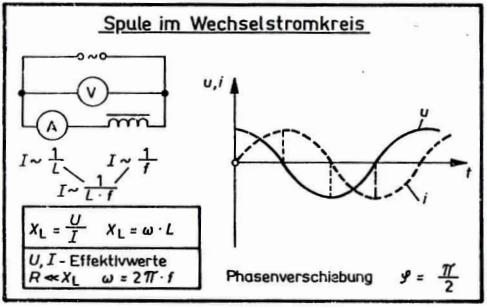
(3) Im DE (PSV 9, V 4.3.4.) zeigt sich, daß an einer Spule im Wechselstromkreis — ebenfalls eine Phasenverschiebung von $\pi/2$ auftritt, jedoch

— die gegenseitige Lage der Kurven der beim Kondensator festgestellten entgegengesetzt ist.

Die Schüler sind darauf hinzuweisen, daß sich die Phasenverschiebung bei einer Spule nicht so anschaulich wie beim Kondensator erklären läßt und deshalb auf eine Erklärung verzichtet wird.

Als HA können die Frage 4, LB S. 95, und Aufg. 14, LB S. 154, gestellt werden.

Tafelbild



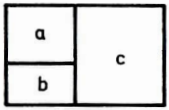


Bild 130/1

10. Stunde: Besonderheiten im Zusammenwirken der Bauelemente

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Unterschiede zwischen den Gesetzen bei der Reihenschaltung von drei ohmschen Widerständen im Gleichstromkreis und der Reihenschaltung von Spule, Kondensator und ohmschem Widerstand im Wechselstromkreis;
- können die Unterschiede mit Hilfe energetischer Betrachtungen erklären;
- kennen die Zeigerdarstellung des Zusammenwirkens von Widerständen im Wechselstromkreis und die Gleichung $R_g = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ zur Berechnung des Gesamtwiderstandes bei der Reihenschaltung von ohmschem Widerstand, Spule und Kondensator.

Unterrichtsmittel

Stromversorgungsgerät (10 V~)
2 Spannungsmesser (10 V~; 50 V~)
Strommesser (100 mA~)
Widerstand (30 Ω)
Kondensator (4 μF)
Spule (750/1500 Wdg.)
U-Kern geblättert
I-Kern geblättert

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Reihenschaltung von Widerständen im Gleich- und im Wechselstromkreis (W, E) **15 min**	HA (K) Wiederholen der Gesetze bei der Reihenschaltung von Widerständen im Gleichstromkreis (UG) Untersuchen der Teilspannungen und der Gesamtspannung bei der Reihenschaltung von Kondensator, Spule und ohmschem Widerstand im Wechselstromkreis (DE, TBa) Erläutern der Untersuchungsergebnisse aus energetischer Sicht (LV)
Bei der Reihenschaltung von Widerständen im Wechselstromkreis gelten andere Gesetze als im Gleichstromkreis. Die Summe der Teilspannungen ist im allgemeinen größer als die Gesamtspannung.	
(2) Zeigerdarstellung des Zusammenwirkens von Widerständen im Wechselstromkreis (E) **10 min**	Darstellen der Widerstände unter Berücksichtigung der Phasenverschiebung und Entwickeln der Gleichung für den Gesamtwiderstand (LV, UG, TBb)
Für den Gesamtwiderstand bei der Reihenschaltung im Wechselstromkreis gilt: $R_g = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$.	
(3) Bedeutung der Gesetze für die Praxis (Ausblick) (E, Fst) **20 min**	Interpretieren der Gleichung für den Gesamtwiderstand und Hinweisen auf die Bedeutung dieser Beziehung für die Nachrichtentechnik (UG, LV, TBc) Lösen von Aufgaben (SSA)
Der Gesamtwiderstand im Wechselstromkreis ist frequenzabhängig. Er nimmt unter bestimmten Bedingungen einen minimalen Wert an. Stromstärke und Teilspannungen erreichen dann maximale Werte.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

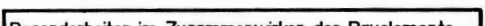
(1) Davon ausgehend, daß sich in vielen technischen Geräten Kondensatoren, Spulen und ohmsche Widerstände in den verschiedensten Anordnungen befinden, wird die Frage aufgeworfen, welche Gesetze für solche Schaltungen gelten. Nachfolgend wird nur die Reihenschaltung der drei Bauelemente behandelt. Das Ergebnis des DE (nach LBA 97/1) $U_g \neq U_R + U_L + U_C$ ist den Schülern mit Hilfe enetgetischer Betrachtungen zu erläutern. Anregungen dazu sind im LB S. 97 bis 98 enthalten.

(2) Der Lehrer weist die Schüler darauf hin, daß die Vorgänge in Kondensator und Spule entscheidend diese Ergebnisse (siehe DE) bedingen wobei die Phasenverschiebung zwischen Spannungs- und Stromstärkekurve von großer Bedeutung ist. Die Phasenbeziehungen werden nun für die drei Bauelemente vergleichend betrachtet. Dazu können die Schüler ihre Aufzeichnungen oder das LB nutzen.
Der Lehrer muß beachten, daß die nachfolgenden Betrachtungen informatorischen Charakter tragen. Die Gleichung $R_g = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ kann auf verschiedenen Wegen gewonnen werden (vgl. LB bzw. TBb).

Es kann darauf hingewiesen werden, daß sich aus einer solchen Darstellung des Zusammenwirkens der Widerstände auch die Gesamtphasenverschiebung ermitteln läßt.

(3) Im letzten Teil der Stunde wird den Schülern ein Ausblick auf die Bedeutung der Gesetze des Wechselstromkreises gegeben. Bei der Interpretation der Gleichung für den Gesamtwiderstand sind vor allem die Auswirkungen der Veränderung von X_L und X_C auf die Stromstärke, die Teilspannungen und die Phasenbeziehungen zu erörtern.
Neben den Fällen 1) $X_L = 0$, X_C, $R \neq 0$; 2) $X_C = 0$, X_L, $R \neq 0$; und 3) $X_C = X_L = 0$, $R \neq 0$ ist der Fall $X_C = X_L \neq 0$, $R \neq 0$ zu diskutieren. In diesem Falle erreichen der Gesamtwiderstand ein Minimum, die Stromstärke und die Teilspannungen ein Maximum (Spannungsresonanz), die Phasendifferenz zwischen Gesamtspannung und Stromstärke ist Null.
Die Schüler sollten hier nochmals darauf hingewiesen werden, daß dabei an Kondensatoren und Spulen Überspannungen auftreten können, die ein Mehrfaches der angelegten Spannung betragen. Die Frequenzabhängigkeit des Gesamtwiderstandes R_g ergibt sich aus $X_L = \omega \cdot L$ und $X_C = 1/\omega \cdot C$. Sie ist beispielsweise für die Nachrichtentechnik von außerordentlicher Bedeutung: Wechselströmen verschiedener Frequenz wird ein verschieden großer Widerstand entgegengesetzt (Siebkette). In leistungsmäßig starken Klassen kann auf die Resonanzfrequenz $f = 1/2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$ hingewiesen werden, die sich aus $X_L = X_C$ ergibt und identisch ist mit der Thomsonschen Schwingungsgleichung, die die Schüler in Klasse 10 (Lehrplanabschnitt 2.2.2.) kennengelernt haben.
Den letzten Teil der Stunde kann der Lehrer dazu nutzen, Aufgaben zu den Gesetzen des Wechselstromkreises lösen zu lassen.

Tafelbild



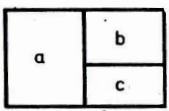


Bild 132/1

11. Stunde: Festigung des Wissens über elektrische Leitungsvorgänge

Stundenziele

Die Schüler

- gelangen durch eine Systematisierung des in den vorhergehenden Stunden behandelten Lehrstoffes zu einem Überblick über das Verhalten von ohmschen Bauelementen, Kondensator und Spule im zeitlich konstanten elektrischen Feld und im elektrischen Wechselfeld;
- können das Verhalten von ohmschen Bauelementen, Kondensatoren und Spulen im zeitlich konstanten elektrischen Feld und im elektrischen Wechselfeld vergleichend beschreiben und erklären;
- sind in der Lage, unter Nutzung der behandelten Gesetze elementare Aufgaben zu lösen.

Unterrichtsmittel

Arbeitsblatt (S. 228) oder
Polylux, Folie

Stundenablauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Systematisierung der Kenntnisse der Schüler über Leitungsvorgänge in elektrischen Feldern (S) **25 min**	Vergleichen von ohmschen Bauelementen, Kondensatoren und Spulen im zeitlich konstanten elektrischen Feld und im elektrischen Wechselfeld (SSA, UG)
Ohmsche Bauelemente haben im konstanten elektrischen Feld und im elektrischen Wechselfeld die gleichen Eigenschaften; es gelten die gleichen Gesetze. Kondensatoren und Spulen haben im zeitlich konstanten elektrischen Feld andere Eigenschaften als im elektrischen Wechselfeld. Es gelten nicht die gleichen Gesetze.	
(2) Lösen von Aufgaben Kontrolle des Wissens der Schüler (Fst, K) **20 min**	Lösen von Aufgaben mit Hilfe der behandelten Gesetze (SSA, K, HA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Unabhängig von der Schwerpunktsetzung (W, S, Fst, K) sollte in jeder Klasse eine Systematisierung des Wissens der Schüler erfolgen. Dabei empfiehlt es sich,

die Systematisierung auf zwei Ebenen durchzuführen:

a) Vergleich zwischen ohmschem Bauelement, Spule und Kondensator im elektrischen Wechselfeld mit sinusförmigem Zeitverlauf;
b) Vergleich zwischen metallischem Leiter und Spule im zeitlich konstanten elektrischen Feld und im elektrischen Wechselfeld.

Das vorgeschlagene, ausgefüllte Arbeitsblatt gibt zu a) Anregungen. Weitere Hinweise zu möglichen Systematisierungen findet der Lehrer in WiPh, S. 210 und im LB.
Das Arbeitsblatt kann auch als Folie oder als Übersicht an der Tafel gestaltet werden. Das Ausfüllen kann in SSA (eventuell als Kontrolle angelegt) oder im Verlauf eines UG erfolgen.

(2) Zur weiteren Festigung eignen sich die Aufgaben 3, 4, 5, 12 und 13, LB S. 154. Als HA bereiten die Schüler die Protokolle für die Schülerexperimente L 4 und L 5 vor.

12. Stunde: Kennlinien von Glühlampe, Thermistor und Halbleiterdiode

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß die I-U-Kennlinie eines Bauelements mit konstanter Beweglichkeit und Konzentration der wanderungsfähigen Ladungsträger eine Gerade, der Widerstand also konstant ist;
- sind in der Lage, eine I-U-Kennlinie von Glühlampe, Thermistor und Halbleiterdiode aufzunehmen;
- gelangen zu der Erkenntnis, daß die I-U-Kennlinien von Glühlampen, Thermistoren und Halbleiterdioden keine Geraden sind; ihr Widerstand also nicht konstant ist.

Unterrichtsmittel

Schülerstromversorgungsgerät SVG 1 Widerstand (ca. 500 Ω) 1 Glühlampe (6 V; 0,3 A) 2 Meßinstrumente „Polytest“ 1 Thermistor 1 Halbleiterdiode	nach Anzahl der Schülergruppen

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Zielstellung und Wiederholung (E, W) **7 min**	Formulieren der Zielstellung für die nächsten Stunden (LV) Reaktivieren des Wissens über Leitungsvorgänge in Metallen bei ϑ = konstant (UG)
Bei Metallen hat bei ϑ = konstant die Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger konstante Werte. Die I-U-Kennlinie ist eine Gerade. Der Widerstand ist konstant.	
(2) Kennlinie von Glühlampe, Thermistor und Halbleiterdiode (U, Fst) **38 min**	HA (K) Aufbauen der Experimentieranordnung, Durchführen der Messungen und Darstellen der Meßwerte in I-U-Diagrammen (SE, SSA) Erstes Auswerten des SE (UG, HA)
Glühlampe, Thermistor und Halbleiterdiode haben gekrümmte Kennlinien. Bei einer Glühlampe wird der Widerstand mit steigender Spannung größer, bei einem Thermistor dagegen kleiner. Charakteristisch für eine Halbleiterdiode ist die Abhängigkeit des Widerstandes von der Polarität der angelegten Spannung.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Zu Beginn der Stunde sollte den Schülern die Systematik des Herangehens an die Behandlung elektrischer Leitungsvorgänge noch einmal bewußtgemacht werden. Zunächst wurden Leitungsvorgänge im konstanten elektrischen Feld, danach im elektrischen Wechselfeld mit sinusförmigem Zeitverlauf betrachtet. Das geschah jeweils unter der Bedingung der Konstanz von Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger. Diese Bedingung wird nun aufgehoben, das elektrische Feld aber zunächst wieder als konstant angenommen.
In Vorbereitung des SE wird der I-U-Zusammenhang bei metallischen Leitern wiederholt. Dabei ist nachdrücklich auf die Konstanz der Ladungsträgerkonzentration (Metallbindung) und ihrer Beweglichkeit (ϑ = konstant) hinzuweisen.

(2) Beim SE arbeiten die Schüler nach der Anweisung in „Schülerexperimente Physik Kl. 11/12". Das SE kann arbeitsteilig durchgeführt werden.
Nach Beendigung des Experiments und einem Austausch der Meßwerte zwischen den Versuchsgruppen — jeder Schüler hat dann für alle drei Bauelemente Meßwerte — erfolgt eine erste Auswertung des Schülerexperiments. Eine ausführliche Deutung der Ergebnisse wird in der darauffolgenden Stunde vorgenommen. Als HA vervollständigen die Schüler die Protokolle. Außerdem können Kurzvorträge zum Aufbau von Halbleitern und zum Aufbau einer Halbleiterdiode vergeben werden.

13. Stunde: Einfluß von Beweglichkeit und Konzentration der wanderungsfähigen Ladungsträger auf den Kennlinienverlauf

Stundenziele

Die Schüler

- können den Verlauf der *I-U*-Kennlinien von Metallen und Halbleitern erklären;
- kennen den Aufbau einer Halbleiterdiode, können Aussagen über die Konzentration der Ladungsträger in der Grenzschicht ohne und mit angelegter Spannung verschiedener Polarität machen und daraus Schlußfolgerungen bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes ziehen;
- wissen, daß Halbleiterdioden vorwiegend als Gleichrichter verwendet werden, und kennen eine einfache Gleichrichterschaltung.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 5.3.1.
V 5.3.4.
Widerstand (5 kΩ)
Polylux, Folie

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Einfluß der Beweglichkeit der Leitungselektronen auf die *I-U*-Kennlinie einer Glühlampe (W) **10 min**	HA (K) Darstellen des Einflusses der Beweglichkeit der Leitungselektronen auf die *I-U*-Kennlinie (UG)
Bei Erhöhung der Temperatur des Glühfadens einer Glühlampe wird die Beweglichkeit der Leitungselektronen geringer. Der Widerstand wird mit steigender Spannung größer.	
(2) Einfluß der Beweglichkeit und Konzentration der Ladungsträger auf die *I-U*-Kennlinie eines Thermistors (W, A) **15 min**	Wiederholen: Aufbau von Halbleitern; Begriffe Eigenleitung, Störstellenleitung (SV, UG) Erläutern des Einflusses von Beweglichkeit und Konzentration wanderungsfähiger Ladungsträger auf die *I-U*-Kennlinie eines Thermistors (DE, LV) Hinweisen auf Anwendungen von Thermistoren (UG)
Bei Erhöhung der Temperatur eines Thermistors wird die Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger geringer, ihre Konzentration dagegen größer, wobei der zweite Effekt überwiegt. Der Widerstand wird mit steigender Spannung kleiner.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Einfluß der Konzentration der Ladungsträger in der Grenzschicht auf die *I-U*-Kennlinie einer Halbleiterdiode (W, A) 15 min	Oszillografische Darstellung der *I-U*-Kennlinie einer Halbleiterdiode (DE) Wiederholen: Bau einer Halbleiterdiode (SV) Erörtern der Vorgänge in der Diode bei verschiedener Polarität der angelegten Spannung (UG)
Eine Halbleiterdiode besteht aus n- und p-leitendem Material. Die Konzentration der Ladungsträger in der Grenzschicht ist von der Polung der angelegten Spannung abhängig. Der Widerstand ist in Sperrichtung erheblich größer als in Durchlaßrichtung.	
(4) Anwendung von Halbleiterdioden (W, E) 5 min	Hinweisen auf Anwendungen von Halbleiterdioden (LV, UG) Demonstrieren der Gleichrichterwirkung einer Halbleiterdiode (DE)
Halbleiterdioden werden vorwiegend als Gleichrichter verwendet.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

In dieser Stunde werden die SE weiter ausgewertet. Dabei kommt es darauf an, für jedes Bauelement den Zusammenhang zwischen dem Kennlinienverlauf einerseits, der Veränderung der Konzentration bzw. Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger und damit der Veränderung des Widerstandes andererseits herzustellen. Die Ergebnisse der Erörterungen werden in einer Übersicht (FO) zusammengefaßt.

(1) Die Erläuterung des Zustandekommens einer gekrümmten *I-U*-Kennlinie bei einer Glühlampe erfolgt durch die Schüler. Anschließend wird die Aufgabe gestellt, den bei Glühlampen auftretenden Einschaltstromstoß zu erklären.

(2) Den Schülern sollte zunächst deutlich gemacht werden, daß beim Thermistor die Temperatur entscheidend den Kennlinienverlauf beeinflußt. Dabei ist die Art der Temperaturerhöhung (Eigenerwärmung, Fremderwärmung) unwesentlich. Da dies im SE kaum deutlich wird, empfiehlt es sich, den Schülern diese Tatsache in einem DE (PSV 9, V 5.3.1.) zu zeigen. Beim weiteren Vorgehen kann sich der Lehrer am LB, S. 99ff., orientieren.
Abschließend ist auf mögliche Anwendungen von Thermistoren hinzuweisen (z.B. zur Begrenzung von Einschaltströmen, zur Temperaturmessung, zum Ausgleich der Temperaturabhängigkeit metallischer Leiter; als stellbare Widerstände ohne bewegliche Kontakte). Über die Steuerung eines Thermistors wird in der 15. Stunde ausführlicher gesprochen.

(3) Zunächst wird den Schülern die *I-U*-Kennlinie einer Halbleiterdiode in oszillografischer Darstellung gezeigt (Hinweise zur Versuchsdurchführung sind in der Fachzeitschrift „Physik in der Schule", Berlin 13 (1975) 3, enthalten). Nach der Wiederholung des Baus einer Halbleiterdiode wird das Zustandekommen der Kennlinie erörtert. Im Mittelpunkt steht dabei die Betrachtung der Konzentration der Ladungsträger in der Grenzschicht. Bei den Schülern ist die Erkenntnis zu

festigen, daß sich beim Anlegen einer Spannung in der Grenzschicht jeweils ein dynamischer Gleichgewichtszustand herausbildet.

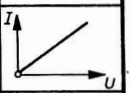
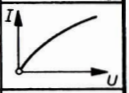
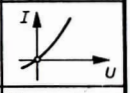
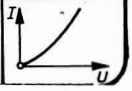
(4) Der Lehrer weist auf die Anwendung von Halbleiterdioden als Gleichrichter hin. Die Ausführlichkeit der Darstellung ist davon abhängig zu machen, ob der Lehrer bei den Anwendungen (siehe 19. und 20. Stunde) die Gleichrichtung einer Wechselspannung behandeln will.
Ein DE (PSV 9, V 5.3.4.) und ein Hinweis auf die Zweiweggleichrichtung sollte in jeder Klasse erfolgen.
Es ist deutlich herauszuarbeiten, daß

- Gleichrichtung nicht Konstanz der Spannung beziehungsweise der Stromstärke, sondern nur Konstanz der Polarität bedeutet und
- zur Erzeugung einer konstanten Spannung beziehungsweise Stromstärke mittels Gleichrichtung einfache Gleichrichterschaltungen nicht ausreichen.

Folie

Bild 138/1

Einfluß von Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger auf den Kennlinienverlauf

Konzentration der wanderungsfähigen Ladungsträger	Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger	Beispiel	Kennlinie
konstant	konstant	Metalldraht bei ϑ = konstant	
konstant	nicht konstant	Metalldraht bei $\vartheta \neq$ konstant (Glühlampe)	
nicht konstant	konstant	Halbleiter-diode bei ϑ = konstant	
nicht konstant	nicht konstant	Thermistor, bei $\vartheta \neq$ konstant	

14. Stunde: I-U-Kennlinien und Widerstände von Bauelementen

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß die Form der *I-U*-Kennlinie eines Bauelements von der Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger im Stoff abhängt;

— verstehen die Zusammenhänge zwischen Kennlinie und Widerständen eines Bauelements und erfassen damit Grenzen des Widerstandsbegriffs;
— festigen ihr Wissen über elektrische Leitungsvorgänge durch Lösen von Aufgaben.

Unterrichtsmittel

Polylux, Folie

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Einfluß von Konzentration und Beweglichkeit wanderungsfähiger Ladungsträger auf den Kennlinienverlauf (W) **10 min**	Diskussion verschiedener Fälle der Konstanz beziehungsweise Veränderlichkeit von Konzentration und Beweglichkeit wanderungsfähiger Ladungsträger auf die Kennlinienform (FO, UG, K)
Lineare I-U-Zusammenhänge treten auf, wenn Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger konstant sind. In allen anderen Fällen sind die Kennlinien in der Regel gekrümmt.	
(2) I-U-Kennlinie und Widerstandsbegriff (E) **20 min**	Darstellen der Zusammenhänge zwischen I-U-Kennlinie und Widerständen eines Bauelements (UG, TBa, b) Bewußtmachen der Grenzen des Widerstandsbegriffs (LV, TBc)
Der durch $R = U/I$ definierte Widerstand liefert bei nichtlinearen Kennlinien nur Aussagen über einzelne Betriebszustände. Eine umfassende Kennzeichnung des Bauelements erfolgt durch Kennlinien oder Kennlinienscharen.	
(3) Festigung des Wissens über Kennlinien (A) **15 min**	Lösen von Aufgaben (SSA, UG, HA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

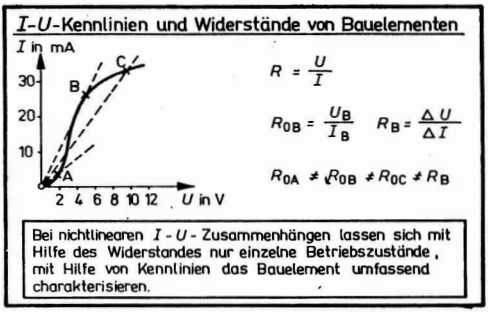
(1) Zur Wiederholung kann die für die vorhergehende Stunde vorgeschlagene Folie verwendet werden.

(2) Auf den Zusammenhang zwischen dem Anstieg der I-U-Kennlinie eines Bauelements und seinem Widerstand ist verschiedentlich schon hingewiesen worden. Hauptziel der Stunde ist es, diesen Zusammenhang genauer zu erörtern und damit den Schülern Grenzen der Anwendbarkeit des Widerstandsbegriffes bewußt zu machen. Zugleich erhalten die Schüler einen Ausblick auf Betrachtungsweisen, die in der Elektronik üblich sind. Die nachfolgenden Betrachtungen können in analoger Weise wie bei der Behandlung der Durchschnittsgeschwindigkeit und Augenblicksgeschwindigkeit durchgeführt werden. Es ist zu betonen, daß die Analogie nur in der Gedankenführung besteht, ein inhaltlicher Vergleich ist nicht sinnvoll.

Die Berechnung des Widerstandes für jeden der drei Punkte der Kennlinie (TB) durch Anwendung der Gleichung $R = U/I$ ergibt verschiedene Werte. Diese Widerstände charakterisieren die einzelnen Betriebszustände A, B, C also die Zustände bei jeweils einer bestimmten Spannung und der dazugehörigen Stromstärke. Im I-U-Diagramm können sie als durch den Nullpunkt des Koordinatensystems verlaufende Geraden gedeutet werden. Jedem Punkt der Kennlinie kann auch ein Widerstand zugeordnet werden, der sich aus der Tangente im jeweiligen Punkt ergibt. Dieser Widerstand hat für die Praxis größere Bedeutung. Er charakterisiert die Änderung der Stromstärke bei Änderung der Spannung um den jeweiligen Punkt.
Ausgehend von diesen Betrachtungen sind die Schüler zu der Erkenntnis zu führen, daß ein beliebiges Bauelement im allgemeinen nicht durch Angabe eines Widerstandes gekennzeichnet werden kann. Eine umfassende Charakterisierung ist nur durch Kennlinien möglich. Umgekehrt lassen sich aus I-U-Kennlinien Informationen über den Widerstand des Bauelements in verschiedenen Betriebszuständen entnehmen. Die Schüler sollten auch darauf hingewiesen werden, daß sich aus den Kennlinien Aussagen über die im Bauelement umgesetzte Leistung im jeweiligen Betriebszustand ableiten lassen.
Die Bedeutung von Kennlinien bzw. Kennlinienscharen für Wissenschaft und Technik kann durch das Zeigen von entsprechenden Darstellungen in Prospekten, Taschenbüchern für Elektronik u. a. unterstrichen werden.

(3) Zur Festigung des erworbenen Wissens werden anschließend einige Aufgaben gelöst. Dazu eignen sich beispielsweise die Fragen 3 und 4, LB S. 105.
In Vorbereitung der nächsten Stunde erteilt der Lehrer die HA, das Protokoll zum Schülerexperiment L 6 vorzubereiten.

Tafelbild



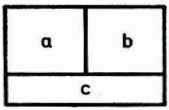


Bild 140/1

15. Stunde: Steuerung eines Thermistors

Stundenziele

Die Schüler

- gewinnen die Erkenntnis, daß sich der Leitungsvorgang in verschiedenen Bauelementen entweder durch Änderung der Betriebsspannung oder durch andere Maßnahmen bei konstanter Betriebsspannung beeinflussen (steuern) läßt;
- können das Stromstärke-Temperatur-Diagramm eines Thermistors aufnehmen und den Verlauf der Steuerkennlinie erklären;
- kennen Beispiele für die Anwendung von Thermistoren.

Unterrichtsmittel

Polylux, Folie
Schülerstromversorgungsgerät SVG
1 Thermistor
1 oder 2 Meßinstrumente „Polytest"
1 Ölbad
1 Thermometer

} nach Anzahl der Schülergruppen

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Möglichkeiten der Steuerung elektronischer Bauelemente (Überblick) (E) **10 min**	Geben eines Überblicks über Möglichkeiten der Steuerung von elektronischen Bauelementen (LV, FO) Formulieren der Zielstellung für die nächsten Stunden (LV)
Bei konstanter Betriebsspannung kann die Steuerung in elektronischen Bauelementen durch Änderung der Konzentration beziehungsweise der Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger oder durch Änderung des elektrischen Feldes erfolgen.	
(2) I-ϑ-Diagramm eines Thermistors (U) **30 min**	HA (K) Aufnehmen des I-ϑ-Diagramms eines Thermistors (SE) Erklären des Verlaufs der Steuerkennlinie eines Thermistors (SSA, UG)
Ein Thermistor kann durch Temperaturänderung gesteuert werden. Eine Temperaturerhöhung führt bei U_B = konstant zu einer Vergrößerung der Stromstärke.	
(3) Anwendung von Thermistoren (E, W) **5 min**	Hinweisen auf Anwendungen von Thermistoren (LV, UG, HA)
Thermistoren finden beispielsweise zur Temperaturmessung und als stellbare Widerstände ohne bewegliche Kontakte Anwendung.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

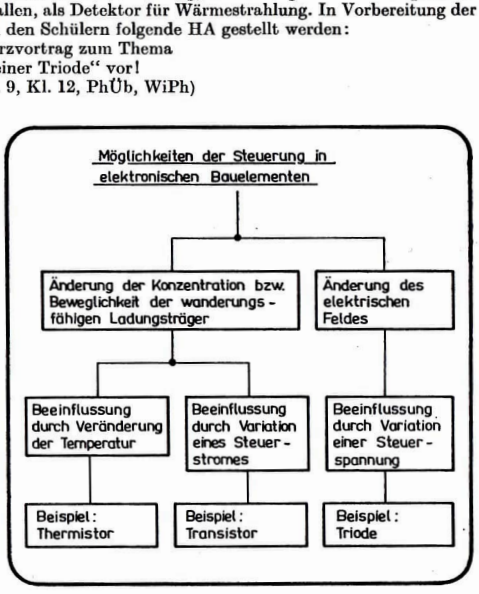
(1) Ausgehend von der Bedeutung steuerbarer elektronischer Bauelemente für die Technik, können aus dem allgemeinen Leitungsmodell (Voraussetzungen für den Leitungsvorgang) die beiden prinzipiellen Möglichkeiten der Steuerung elektronischer Bauelemente abgeleitet werden (FO). Dabei ist deutlich herauszuarbeiten, daß es in dieser und in den folgenden Stunden nicht um die Beeinflussung der Stromstärke durch Variation der angelegten Betriebsspannung geht, sondern um eine Beeinflussung (Steuerung) des Leitungsvorganges im Bauelement durch andere Maßnahmen. Die Betriebsspannung wird dabei konstant gehalten.

(2) Das SE wird nach der Anleitung in „Schülerexperimente Physik Kl. 11/12" durchgeführt, seine Auswertung kann weitgehend in SSA erfolgen. In der Auswertung sollte hervorgehoben werden, daß im SE eine Steuerkennlinie aufgenommen wurde, die für den gegebenen Thermistor zugleich eine Eichkurve für Temperaturmessungen darstellt.

(3) Den Schülern wird informatorisch ein Einblick in Anwendungsbereiche für Thermistoren als steuerbare Bauelemente gegeben. Der Thermistor findet beispielsweise Anwendung als elektrisches Thermometer (u. a. in Stecknadelkopfgröße), als stellbarer Widerstand ohne bewegliche Kontakte (Veränderung des Widerstandes erfolgt durch Fremderwärmung), zum Ausgleich des Temperaturkoeffizienten von Metallen, als Detektor für Wärmestrahlung. In Vorbereitung der nächsten Stunde kann den Schülern folgende HA gestellt werden:
Bereiten Sie einen Kurzvortrag zum Thema
„Bau und Schaltung einer Triode" vor!
(Literatur: LB Ph Kl. 9, Kl. 12, PhÜb, WiPh)

Folie

Bild 142/1



16. Stunde: Steuerung einer Triode

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den Bau und die Schaltung einer Triode;
- wissen, daß sich durch die Änderung der Gitterspannung die Anodenstromstärke steuern läßt;
- kennen die I_A-U_G-Kennlinie einer Triode und können die Steuerung einer Triode beschreiben;
- wissen, daß Trioden als Verstärkerröhren verwendet werden.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 5.2.12.
Polylux, Folie
Folie „Leitungsvorgänge in Elektronenröhren"

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Bau und Schaltung einer Triode (W, K) **10 min**	Beschreiben des Baus und der Schaltung einer Triode (SV, TBa)
Eine Triode besteht aus Katode, Anode und Gitter, die sich in einem evakuierten Glasgefäß befinden. Zu unterscheiden sind Anodenstromkreis und Gitterstromkreis.	
(2) Steuerung einer Triode (W, E) **25 min**	Beschreiben des Leitungsvorganges in der Triode unter dem Einfluß zweier elektrischer Felder (UG) Diskutieren der I_A-U_G-Kennlinie einer Triode (UG, TBb)
In einer Triode führt sowohl eine Änderung der Gitterspannung U_G als auch eine Änderung der Anodenspannung U_A zu einer Änderung der Anodenstromstärke I_A. Der Einfluß von U_G auf I_A ist wesentlich größer als der von U_A auf I_A.	
(3) Anwendung von Trioden (A) **10 min**	Demonstrieren und Erklären der Verstärkerwirkung einer Triode (DE, UG) Hinweisen auf Anwendungsbeispiele (LV, TBc, HA)
Trioden werden vorwiegend als Verstärkerröhren angewendet.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Ausgehend von einer Folie für den Polylux (siehe Bild 142/1) wird die Zielstellung formuliert: Es soll die Steuerung der Stromstärke durch Änderung des elektrischen Feldes am Beispiel einer Triode genauer erörtert werden.
Dazu wird zunächst der Bau und die Schaltung einer Triode wiederholt. Dies kann mit einer Leistungskontrolle verbunden werden.

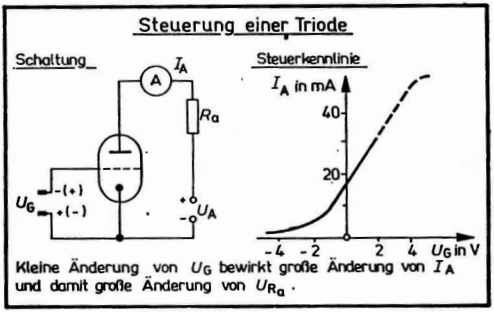
(2) Bei der Behandlung der Steuerung einer Triode steht die Beeinflussung des Leitungsvorgangs durch Variation des elektrischen Feldes im Mittelpunkt. Es ist herauszuarbeiten, daß

- die Anodenstromstärke vor allem von der elektrischen Feldstärke im katodennahen Bereich abhängt;
- sich das elektrische Feld in diesem Teil der Röhre aus zwei Anteilen zusammensetzt und folglich sowohl eine Änderung der Gitterspannung als auch eine Änderung der Anodenspannung zu einer Änderung der Anodenstromstärke führt;
- aufgrund der Abstände Katode-Gitter- beziehungsweise Katode-Anode (vgl. LBA 106/1) eine Gitterspannungsänderung die Anodenstromstärke stärker beeinflußt als eine entsprechende Anodenspannungsänderung. (Die Gleichung $E = U/s$ kann zu einer groben Abschätzung herangezogen werden.)

Anhand einer gegebenen I_A-U_G-Steuerkennlinie kann die Beeinflussung von I_A durch Variation von U_G noch einmal erörtert werden. Zur Festigung und Ergänzung des Behandelten wird die Frage nach dem Einfluß der Betriebsspannung U_A auf den Kennlinienverlauf diskutiert. Informatorisch sollte den Schülern eine Kennlinienschar gezeigt werden, aus der abzulesen ist, daß der Einfluß der Steuerspannung U_G auf die Anodenstromstärke I_A größer ist als der Einfluß der Betriebsspannung U_A auf I_A.

(3) Im letzten Teil der Stunde werden die Schüler auf Anwendungen von Trioden hingewiesen. Im Mittelpunkt steht dabei die Demonstration der Verstärkerwirkung einer Triode, die in einem DE (PSV 9, V 5.2.12., Teilversuch 2) eindrucksvoll gezeigt werden kann. Eine ausführliche Behandlung der Verstärkerwirkung einer Triode ist nicht zu empfehlen. Zum einen hat die Triode in der Praxis an Bedeutung verloren. Zum anderen treten gerade bei der Erklärung der Verstärkerwirkung einer Triode erhebliche methodische Schwierigkeiten auf. Ein Vergleich der Beträge gleicher Größen (z.B. Gitterspannungsänderung und Änderung der Spannung an einem Arbeitswiderstand im Anodenstromkreis), der hierbei notwendig wäre, erfordert umfangreiche Betrachtungen, die über den Lehrplanstoff hinausgehen.
Auf die Verstärkerwirkung elektronischer Bauelemente sollte beim Transistor ausführlicher eingegangen werden (vgl. 18. Stunde). Als HA reaktivieren die Schüler ihre Kenntnisse über den Bau eines Transistors.

Tafelbild



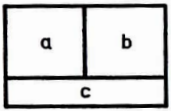


Bild 145/1

17. Stunde: Steuerung eines Transistors

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den Bau eines bipolaren Transistors und die Emitterschaltung als eine der Grundschaltungen;
- wissen, daß sich beim Transistor durch Veränderung der Basisstromstärke die Kollektorstromstärke steuern läßt;
- kennen die I_C-I_B-Steuerkennlinie eines Transistors und können die Steuerwirkung beim Transistor beschreiben;
- erhalten einen Ausblick auf die vollständige Charakterisierung eines Transistors durch ein Kennlinienfeld.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 5.3.9.
Polylux, Folie

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Bau eines Transistors (W, K) 5 min	HA (K) Beschreiben des Aufbaus eines Transistors (SV, TBa) Hinweisen auf verschiedene Arten von Transistoren (LV)
Ein Transistor besteht aus 3 Zonen von Halbleitermaterial in der Anordnung pnp oder npn. Die Basiszone ist vergleichsweise schmal.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Steuerung eines Transistors in Emitterschaltung (E) **80 min**	Erörtern der Beeinflussung des Leitungsvorganges im Transistor bei Variation der Basisstromstärke (UG, LV, TBb) Aufnehmen der I_C-I_B-Steuerkennlinie eines Transistors (DE, TBc, d) Auswerten der Kennlinie (UG)
In einem Transistor führt sowohl eine Änderung der Basisstromstärke I_B als auch eine Änderung der Kollektorspannung U_{CE} zu einer Änderung der Kollektorstromstärke I_C. Der Einfluß von I_B auf I_C ist wesentlich größer als der von U_{CE} auf I_C.	
(3) Kennlinienfeld eines Transistors (Ausblick) (E) **10 min**	Hinweisen auf die umfassende Charakterisierung eines Transistors durch ein Kennlinienfeld (LV, HA)
Ein Transistor läßt sich nur durch ein Kennlinienfeld umfassend charakterisieren.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

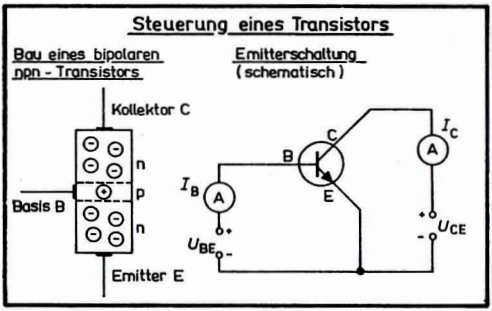
(1) Analog zum LB werden die Betrachtungen an einem Transistor des häufiger eingesetzten Typs npn durchgeführt. Da sich die Darstellungen im Lehrbuch der Klasse 9, in „Physik in Übersichten" und im „Wissensspeicher Physik" auf den Typ pnp beziehen, ist es zweckmäßig, die Schüler deutlich auf diesen Unterschied und auch auf die unterschiedlichen Schaltzeichen hinzuweisen. Zugleich ist klarzustellen, daß es bei der Erklärung der Steuerwirkung zwischen den Typen pnp und npn keine prinzipiellen Unterschiede gibt.

(2) Die Steuerung des Transistors wird in Emitterschaltung untersucht. Das hat den Vorteil, daß bis zu gewissem Grade Vergleiche mit einer Triode gezogen werden können.
Mit Hilfe des allgemeinen Leitungsmodells wird das Prinzip der Steuerung eines Transistors erläutert. Dabei kann so vorgegangen werden, wie es im LB, S. 107, skizziert ist. Im Mittelpunkt stehen die Vorgänge in jeweils einer Grenzschicht.
In einem DE (PSV 9, V 5.3.9., Teilversuch 1) wird die I_C-I_B-Steuerkennlinie eines Transistors aufgenommen. Aus ihr ist abzulesen, daß eine kleine Änderung von I_B eine erhebliche Änderung von I_C bewirkt.
Daran anschließend sollte in einem zweiten DE gezeigt werden, daß durch Variation der Kollektorspannung U_{CE} die Kollektorstromstärke I_C weniger stark beeinflußt wird als durch Variation der Basisstromstärke I_B. Das kann entweder halbquantitativ gemacht werden, indem bei U_{BE} = konstant die Spannung U_{CE} variiert, die Beeinflussung von I_C registriert und mit der Beeinflussung von I_C bei Variation von I_B anhand der aufgenommenen Kennlinie verglichen wird, oder es kann eine zweite Kennlinie aufgenommen und der beschriebene Sachverhalt aus den zwei Kennlinien abgelesen werden.

(3) Abschließend wird den Schülern ein Ausblick darauf gegeben, wie ein Transistor umfassend charakterisiert werden kann. Dabei geht es nicht darum, den Schülern Einzelheiten über das Kennlinienfeld eines Transistors zu vermitteln. Sie sollen informatorisch darauf hingewiesen werden, daß beim Transistor ver-

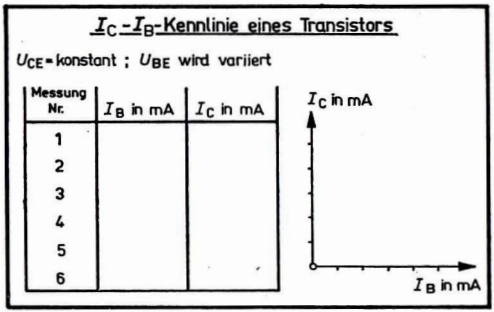
schiedene Abhängigkeiten auftreten und in einem Kennlinienfeld dargestellt werden können (vorbereitete Folie mit einem Kennlinienfeld). Als HA erhalten die Schüler die Fragen 1 bis 3, LB S. 109.

Tafelbild



a | b

Bild 147/1



c | d

Bild 147/2

18. Stunde: Festigung durch Systematisierung und Anwendung

Stundenziele

Die Schüler

- erhalten einen Überblick über *I-U*-Kennlinien und Steuerkennlinien von Bauelementen und festigen ihr Wissen über verschiedene Kennlinien;
- sind in der Lage, gegebene *I-U*-Kennlinien und Steuerkennlinien zu erläutern;
- wissen, daß Trioden und Transistoren als Verstärker angewendet werden;
- verstehen, daß elektronische Bauelemente als Schalter genutzt werden können.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 5.3.10.
Polylux, Folie

Stundenverlauf

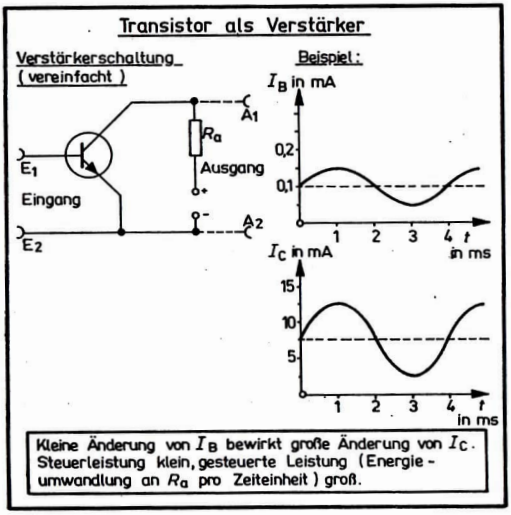
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) *I-U*-Kennlinien und Steuerkennlinien (S) **20 min**	HA (K) Systematisieren von *I-U*-Kennlinien und Steuerkennlinien verschiedener Bauelemente (FO, UG) Erörtern der Bedeutung von *I-U*-Kennlinien und Steuerkennlinien (UG)
Aus *I-U*-Kennlinien eines Bauelements lassen sich Widerstände und Leistungen für verschiedene Betriebszustände ermitteln. Aus Steuerkennlinien lassen sich Aussagen über den Steuerungsprozeß im Bauelement ableiten.	
(2) Triode und Transistor als Verstärker (W, E) **15 min**	Wiederholen des Verstärkereffekts bei einer Triode (UG) Erläutern des Verstärkereffekts bei einem Transistor (LV, UG, TBa, b)
Triode und Transistor werden als Verstärker angewendet. Bei einem Verstärker wird durch eine kleine Steuerleistung eine Energieumwandlung großer Leistung gesteuert.	
(3) Elektronische Bauelemente als Schalter (E, A) **10 min**	Hinweisen auf die Anwendung von Dioden und Transistoren als Schalter (LV) Demonstrieren der Anwendung eines Transistors als Schalter (DE: PSV 9, V 5.3.10.)
Dioden und Transistoren können als Schalter angewendet werden.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Im Prozeß der Systematisierung (FO) sollte eine Diskussion verschiedener Kennlinien erfolgen, wobei das in Abhängigkeit von der Klassensituation in verschiedener Ausführlichkeit gemacht werden kann. Es ist deutlich herauszuarbeiten, welcher Zusammenhang durch die jeweilige Kennlinie dargestellt ist und was aus *I-U*-Kennlinien beziehungsweise Steuerkennlinien ermittelt werden kann. Auf bestimmte Kenngrößen (Folie) kann hingewiesen werden.

(2) Nach dem Wiederholen des Verstärkereffekts bei einer Triode (vgl. 16. Stunde) ist am Beispiel eines Transistors das Wesen eines Verstärkers herauszuarbeiten. Die Schüler sollen die Erkenntnis vermittelt bekommen, daß der Begriff Verstärkung nur sinnvoll ist, wenn die Beträge gleicher Größen (Spannungen, Stromstärken, Leistungen) miteinander verglichen werden, und daß bei einem Verstärker durch eine kleine Steuerleistung eine Energieumwandlung großer Leistung gesteuert wird. Die Betrachtungen können anhand einer Emitterschaltung mit Arbeitswiderstand (TB) durchgeführt werden.

Tafelbild



a
b

Bild 149/1

Folie

Bild 149/2

Kennlinien elektronischer Bauelemente

Bauelement	I-U-Kennlinien	Steuerkennlinien	
Thermistor	I, ϑ_1, ϑ_2, U	I, U_{B_1}, U_{B_2}, ϑ	$\frac{\Delta I}{\Delta \vartheta}$ Temperaturempfindlichkeit
Triode	I_A, U_{G_1}, U_{G_2}, U_A	I_A, U_{A_1}, U_{A_2}, U_G	$\frac{\Delta I_A}{\Delta U_G}$ Steilheit
Transistor	I_C, I_{B_1}, I_{B_2}, U_{CE}	I_C, U_{CE_1}, U_{CE_2}, I_B	$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ Stromverstärkung
Kennzeichen	Zeigt den Zusammenhang zwischen angelegter (Betriebs-) Spannung und Stromstärke Es können Widerstände u. Leistungen ermittelt werden	Zeigt die Beeinflussung des Leitungsvorganges (Steuerung) im Bauelement Es können Aussagen über den Steuerungsprozeß im Bauelement abgeleitet werden	

19. Stunde: Anwendungen elektronischer Bauelemente I

Stundenziele

Die Schüler

- gewinnen einen Einblick in Anwendungen elektronischer Bauelemente;
- lernen einfache und zugleich grundlegende Schaltungen der Elektronik kennen;
- festigen ihr Wissen über elektronische Bauelemente durch Wiederholen und Anwenden;
- verstehen das Zusammenwirken verschiedener Bauelemente in diesen Schaltungen.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 5.3.4., V 5.2.10., PSV 10, V 3.1.8., Polylux, Folien

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Zur Anwendung elektronischer Bauelemente in der Technik (E) **5 min**	Nennen von Anwendungsbeispielen elektronischer Bauelemente in der Technik, in Geräten und Anlagen (UG) Zielorientierung (LV)
Elektronische Bauelemente werden in zahlreichen Kombinationen und in großem Umfange in der Technik angewendet. Die meisten komplexen Schaltungen lassen sich auf wenige Grundschaltungen zurückführen.	
(2) Gleichrichtung einer Wechselspannung mittels Diode und Glättung der pulsierenden Gleichspannung (A) **20 min**	Wiederholen: Gleichrichtung einer Wechselspannung mittels Diode (UG) Erörtern der Notwendigkeit und Beschreiben einer Möglichkeit der Glättung pulsierender Gleichspannung (LV, UG, FO Bild 152/1) Zeigen der Gleichrichtung einer Wechselspannung und der Glättung der pulsierenden Gleichspannung (DE: PSV 9, V 5.3.4., V 5.2.10.)
Mit Hilfe von Dioden kann aus Wechselspannung pulsierende Gleichspannung gewonnen werden. Durch eine Kombination von Widerständen und Kondensatoren erfolgt eine Glättung der pulsierenden Gleichspannung.	
(3) Schwingungserzeugung mittels Transistor (A) **20 min**	Erläutern des Prinzips einer Rückkopplungsschaltung (LV, FO Bild 152/2) Demonstrieren der Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen mittels einer Transistorschaltung (DE: PSV 10, V 3.1.8.)
Ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen lassen sich mit Hilfe einer Transistor-Rückkopplungsschaltung erzeugen.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Nach dem Nennen verschiedener Beispiele für die Anwendung elektronischer Bauelemente wird auf Anlagen zum Senden und Empfangen elektromagnetischer Wellen orientiert. Hier ist es u. a. notwendig, Netzwechselspannung gleichzurichten, in einem Sender ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen zu erzeugen und im Empfänger die ankommenden schwachen Signale zu verstärken. Diese Beispiele stehen im Mittelpunkt dieser und der nächsten Unterrichtsstunde. Um eine falsche Akzentuierung zu vermeiden, sollte der Lehrer an den entsprechenden Stellen darauf hinweisen, daß die Gleichrichtung von Wechselspannung, die Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen und die Signalverstärkung keineswegs nur bei der Sendung und beim Empfang von Hertzschen Wellen eine Rolle spielen. Dies ist nur eines von vielen Beispielen.

(2) Die Anwendung von Dioden als Gleichrichter haben die Schüler bereits kennengelernt. Jetzt ist die Frage zu klären, wie man eine konstante, also eine geglättete Gleichspannung gewinnen kann. Dazu wird eine einfache Gleichrichterschaltung (PSV 9, V 5.3.4.) aufgebaut und durch Zuschalten von Kondensatoren und Widerständen (vgl. PSV 9, V 5.2.10.) erweitert. Nach jeder Erweiterung der Schaltung können die zunehmende Glättung der Gleichspannung mit Hilfe eines Oszillografen gezeigt und die Vorgänge erläutert werden. Parallel dazu wird das Tafelbild entwickelt oder eine entsprechende Folie schrittweise aufgedeckt. Es ist zweckmäßig, sich bei der Erläuterung sowohl auf das allgemeine Leitungsmodell als auch auf die Gesetze des Wechselstromkreises zu stützen. Die Funktion des Ladekondensators (Folie 152/1) läßt sich mit Hilfe des allgemeinen Leitungsmodells gut erklären.
Die Funktionsweise des Siebgliedes wird besser verständlich, wenn man davon ausgeht, daß an R (bzw. L) und C_2 eine pulsierende Gleichspannung anliegt, die als Überlagerung einer konstanten Gleichspannung und einer Wechselspannung betrachtet werden kann.
Auf eine Zweiweggleichrichterschaltung sollte hingewiesen werden.

(3) Nach einer Wiederholung der Kenntnisse der Schüler über den Aufbau eines elektrischen Schwingkreises und seine Eigenfrequenz werden zunächst allgemein die Bedingungen für das Zustandekommen ungedämpfter Schwingungen — die periodische Energiezufuhr in der Eigenfrequenz des schwingungsfähigen Systems und die Energiezufuhr in der richtigen Phase — geklärt. Die Schaltung eines Transistorgenerators (Folie 152/2) wird gegeben und erläutert. Dabei ist vor allem die Realisierung der zwei genannten Bedingungen in den Vordergrund zu stellen. Die periodische Energiezufuhr in der Eigenfrequenz des Schwingkreises wird durch die Rückkopplung gewährleistet. Die Energiezufuhr in der richtigen Phase kann durch richtiges Polen der Spulen gesichert werden. Auf Einzelheiten des Versuchsaufbaus zur Demonstration ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen (PSV 10, V 3.1.8.) braucht nicht eingegangen zu werden. Als HA wird gestellt: Erläutern Sie anhand von LBA 110/3 die Gleichrichtung und Glättung von Wechselspannung!

Folie

Bild 152/1

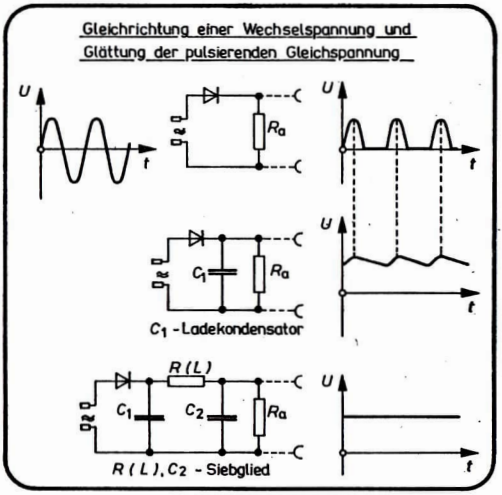
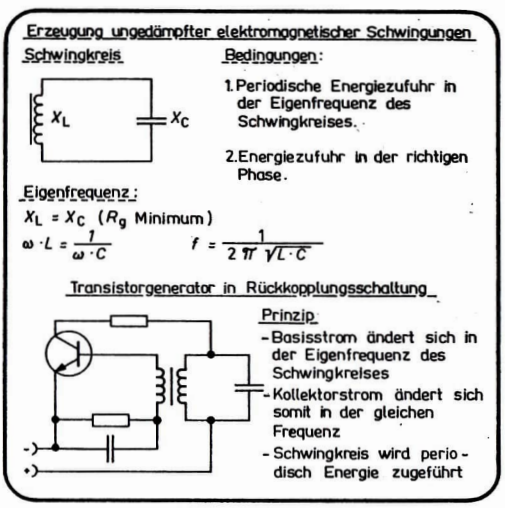


Bild 152/2



20. Stunde: Anwendungen elektronischer Bauelemente II

Stundenziele

siehe 19. Stunde

Unterrichtsmittel

PSV 10, V 3.3.13.
Polylux, Folie

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Signalverstärkung mittels Transistor (A) 25 min	HA (K) Erläutern der Signalverstärkung mittels Transistor (UG) Demonstrieren der Signalverstärkung (DE)
Mit Hilfe von Transistoren können schwache elektrische Signale verstärkt werden.	
(2) Weitere Festigung des behandelten Lehrstoffes 20 min	Festigen durch Wiederholen, Üben und Anwenden

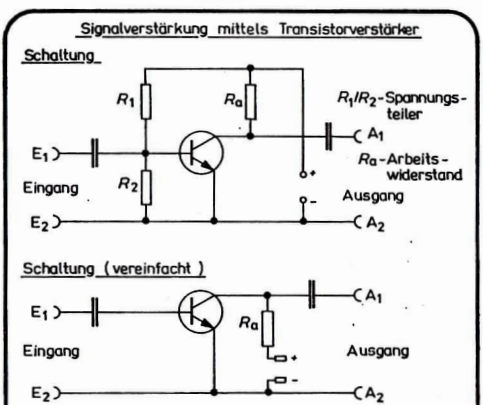
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Nach Kontrolle der HA wird als dritte Anwendung die Signalverstärkung mit Hilfe von Transistoren behandelt. Dabei kann von einer einfachen Empfängerschaltung für Hertzsche Wellen (PSV 10, V 3.3.13.) ausgegangen und den Schülern demonstriert werden, daß die an der Antenne ankommenden Signale (Informationen) mit Hilfe einer relativ einfachen Schaltung erheblich verstärkt werden können. Es ist nicht Anliegen der Stunde, die gesamte Empfängerschaltung zu besprechen. Im Mittelpunkt steht die Betrachtung eines Teils des Empfängers, des Transistorverstärkers für die Niederfrequenz (vgl. Folie; die Schaltskizzen sind entsprechend PSV 10, V 3.3.13. gestaltet).
Die Aufmerksamkeit der Schüler ist besonders auf die Basisspannung zu lenken. Es erfolgt die Überlagerung einer konstanten, am Spannungsteiler R_1/R_2 abfallenden Gleichspannung mit den ankommenden elektrischen Signalen (Wechselspannung). Der dementsprechende Basisstrom steuert den Kollektorstrom. Die verstärkten Signale können an R_a abgegriffen werden. Nach der ausführlichen Erläuterung der einfachen Verstärkerschaltung können die Schüler darauf hingewiesen werden, daß nach dem gleichen Prinzip eine mehrfache Verstärkung erfolgen kann, wie sie beispielsweise bei modernen Rundfunkgeräten üblich ist.

(2) Den letzten Teil der Stunde kann der Lehrer zur weiteren Wiederholung, Übung oder Anwendung des behandelten Lehrstoffes nutzen.

Folie

Bild 154/1

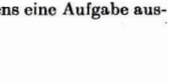


21. Stunde: Kontrollstunde

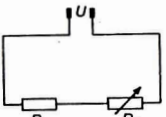
Nachfolgend sind mögliche Aufgaben für eine Kontrollarbeit zum Thema „Elektrische Leitungsvorgänge" zusammengestellt, wobei der Schwerpunkt auf qualitativen und halbquantitativen Aufgaben liegt. Ein Teil der Vorschläge kann durch die Angabe von bestimmten Werten für die physikalischen Größen zu quantitativen Aufgaben umformuliert werden. Um eine hinreichende Breite der Kontrolle zu gewährleisten, sollte der Lehrer aus jeder Gruppe mindestens eine Aufgabe auswählen.

I Gesetze des Gleichstromkreises

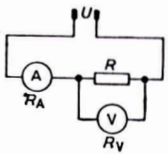
1. An zwei Widerständen R und R_S (siehe Schaltplan) liegt die Gleichspannung U. In welchen Grenzen verändern sich die Stromstärke I und die an R anliegende Teilspannung bei Variation von R_S zwischen Null und seinem Maximalwert? Begründen Sie ihre Aussagen!



2. An einem Widerstand R und einem Strommesser mit dem Innenwiderstand R_A liegt die Gleichspannung U (siehe Schaltplan).
   a) Machen Sie eine begründete Aussage über die an R und R_A anliegenden Teilspannungen!
   b) Wie kann der Meßbereich des Strommessers erweitert werden? Zeichnen Sie einen entsprechende Schaltplan!



3. An einem Widerstand werden Spannung und Stromstärke gemessen (siehe Schaltplan).
   a) Wie groß ist die vom Strommesser angezeigte Stromstärke?
   b) Welche Teilspannungen liegen am Strommesser und Widerstand R? Begründen Sie jede Ihrer Aussagen!



II Allgemeines Leitungsmodell und seine Anwendung

1.a) Nennen Sie die Merkmale des allgemeinen Modells elektrischer Leitungsvorgänge!
   b) An einem Widerstandsdraht liegt eine bestimmte Spannung an; es fließt ein Strom bestimmter Stärke. Begründen Sie mit Hilfe des allgemeinen Leitungsmodells, weshalb sich die Stromstärke bei zunehmender Spannung vergrößert!

2.a) Nennen Sie die Merkmale des allgemeinen Modells elektrischer Leitungsvorgänge!
   b) An einem Widerstandsdraht liegt eine bestimmte Spannung an; es fließt ein Strom bestimmter Stärke. Begründen Sie mit Hilfe des allgemeinen Leitungsmodells, weshalb sich die Stromstärke bei Temperaturerhöhung des Drahtes verringert!

3.a) Nennen Sie die Merkmale des allgemeinen Modells elektrischer Leitungsvorgänge!
   b) An einem Thermistor liegt eine bestimmte Spannung an, es fließt ein Strom bestimmter Stärke. Begründen Sie mit Hilfe des allgemeinen Leitungsmodells, weshalb sich die Stromstärke bei Temperaturerhöhung vergrößert!

III Verhalten von Bauelementen im elektrischen Wechselfeld

1. Vergleichen Sie das Verhalten von ohmschem Bauelement, Spule und Kondensator bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes im zeitlich konstanten elektrischen Feld und im elektrischen Wechselfeld!
2. Vergleichen Sie das Verhalten von ohmschem Bauelement und Kondensator bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes im zeitlich konstanten elektrischen Feld und im elektrischen Wechselfeld!
3. Vergleichen Sie das Verhalten von ohmschem Bauelement und Spule bezüglich der Leitung des elektrischen Stromes im konstanten elektrischen Feld und im elektrischen Wechselfeld!

IV Spezielle *I-U*-Kennlinien

1. Zeichnen Sie die *I-U*-Kennlinie einer Glühlampe!
   Erklären Sie deren Verlauf unter Zuhilfenahme der Begriffe Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger!
2. Zeichnen Sie die *I-U*-Kennlinie eines Thermistors!
   Erklären Sie deren Verlauf unter Zuhilfenahme der Begriffe Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger!
3. Zeichnen Sie die *I-U*-Kennlinie einer Halbleiterdiode!
   Erklären Sie deren Verlauf unter Zuhilfenahme der Begriffe Konzentration und Beweglichkeit der wanderungsfähigen Ladungsträger!

V Steuerbare elektronische Bauelemente/Anwendungen

1. Beschreiben Sie die Steuerung einer Röhrentriode!
   Fertigen Sie dazu einen Schaltplan an, und zeichnen Sie die Steuerkennlinie!
2. Beschreiben Sie die Steuerung eines npn-Transistors!
   Fertigen Sie dazu einen Schaltplan an, und zeichnen Sie eine Steuerkennlinie!
3. Ein schwaches elektrisches Signal soll verstärkt werden. Entwerfen Sie eine einfache Verstärkerschaltung!
   Erläutern Sie anhand dieser Schaltung den Verstärkereffekt!
4. Für den Betrieb eines Rundfunkgerätes ist es notwendig, die Netzwechselspannung in Gleichspannung umzuwandeln.
   Geben Sie eine entsprechende Schaltung an!
   Erläutern Sie die Gleichrichtung der Wechselspannung anhand dieser Schaltung!

Stoffgebiet Einige Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie

6 Stunden

Vorbemerkungen

Bei der Behandlung dieses Stoffgebietes sind einige Besonderheiten zu beachten, die in der methodischen Gestaltung unbedingt berücksichtigt werden müssen.
Mit einem großen Teil dieses Stoffgebietes werden die Schüler nur bekannt gemacht. Sicheres Wissen erwerben die Schüler über

- die Lichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit,
- die relativistische Masseveränderlichkeit,
- die Masse-Energie-Beziehung und über
- die Anwendbarkeit der Masse-Energie-Beziehung auf den Umwandlungsprozeß bei der Paarzerstrahlung.

Die im Lehrplan vorgegebene Zeit ist knapp bemessen, deshalb erfordert besonders der Stoff, mit dem die Schüler nur bekannt gemacht werden, eine starke Führung des Lehrers. Um die für jede Stunde vorgegebenen Ziele zu erreichen, sollte man folgende methodische Fragen zur Unterrichtsführung beachten:

- Wo ist sicheres Wissen zu vermitteln, das mit den Schülern gründlich erarbeitet und gefestigt werden muß?
- Wo kann man im Bereich des Informationswissens einen Abschnitt oder eine Erkenntnis effektiv erarbeiten?
- Wo wendet man die Methode des Lehrervortrages an?

Der Lehrervortrag muß in der Relativitätstheorie oft angewendet werden, auch dann, wenn eine Erarbeitung mit den Schülern möglich wäre.
Die relativistischen Effekte, die mit den Alltagserfahrungen in Widerspruch stehen, müssen in ihrer Wirkung verstärkt und bewußt gemacht werden, um zu zeigen, daß die im Bereich kleiner Geschwindigkeiten gewonnene Erkenntnis zu Widersprüchen mit Erfahrungen im Bereich hoher Geschwindigkeiten führt. Im Stoffgebiet Relativitätstheorie muß sichtbar werden, daß die Wissenschaft von

experimentellen Erfahrungen ausgeht, durch logisches Schließen eine Theorie aufbaut und Erscheinungen voraussagt, die experimentell geprüft werden. Deshalb ist es notwendig, immer wieder einen Überblick über die vorangegangenen Stunden zu schaffen und damit die Abfolge der gedanklichen Schritte deutlich zu machen.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Klassische Addition der Geschwindigkeiten** Bezugssysteme, Koordinatensysteme, Inertialsysteme	Bezugssystem (Ph 9) Koordinatensystem (Ma 8) Differenzieren (Ma 11) Newtonsche Axiome (Ph 9)	LBA 115/1 bis 116/2
2. **Michelson-Experiment** Relativität der Gleichzeitigkeit	Lichtgeschwindigkeit (Ph 10) Interferenz (Ph 10)	LBA 117/1 bis 118/4 Newtonsche Ringe
3. **Relativität der Zeitmessung** Raum-Zeit	Geschwindigkeit (Ph 9) Lehrsatz des Pythagoras (Ma 8) Halbwertszeit (Ph 10)	LBA 119/1 bis 120/2
4. **Relativistische Addition der Geschwindigkeiten** relativistische Massenveränderlichkeit	Masse Beschleunigung (Ph 9)	LBA 121/1 bis 123/3
5. **Masse-Energie-Beziehung**	Kinetische Energie (Ph 9) Exotherme Reaktionen Satz von der Erhaltung der Masse (Ch 9)	
6. **Paarzerstrahlung** Erhaltungssätze, Würdigung A. Einsteins	Elektron-Positron (Ph 10)	LBA 124/1 bis 126/1 DE: Paarzerstrahlung Bilder A. Einsteins

1. Stunde: Klassische Addition der Geschwindigkeiten

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen die Bedeutung von Bezugssystemen für physikalische Überlegungen und erfassen den Unterschied zwischen Bezugssystem und Koordinatensystem;
- festigen die Herleitung der Bewegungsgrößen durch Differentiation;

— wenden das Gesetz der Addition der Geschwindigkeiten an;
— erfassen den Begriff des Inertialsystems.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Hinweise zu den Besonderheiten des Stoffgebietes (E) **5 min**	Erläutern der SRT als logische Theorie mit ungewöhnlichen Aussagen (LV)
(2) Bezugssystem, Koordinatensystem und Beispiele dafür (E, A) **15 min**	Begriffe erläutern (LV) Unterschied zwischen Bezugssystem und Koordinatensystem erklären lassen (UG)
Ein Bezugssystem ist eine starre Anordnung materieller Körper zusammen mit einer Uhr. In Verbindung mit einem Koordinatensystem und den Einheiten werden Ort und Zeit meßbar.	
(3) Herleiten der Orts-, Geschwindigkeits- und Beschleunigungsbeziehungen zwischen den Systemen S und S′ (A) **15 min**	Ablesen von Ortsbeziehungen (UG oder SSA) Differenzieren der Beziehung für x-x' nach der Zeit und interpretieren der Gleichungen (UG) Anwenden des klassischen Additionsgesetzes für Geschwindigkeiten (HA)
(4) Inertialsystem (E) **10 min**	Erläutern des Begriffes Inertialsystem (UG oder LV)
Ein Bezugssystem heißt Inertialsystem, wenn in ihm ein kräftefreier Körper ruht oder sich gleichförmig geradlinig bewegt.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) In den einführenden Hinweisen ist die SRT als Beispiel der Erkenntnisgewinnung (eventuell mit dem Staatsbürgerkundelehrer abstimmen) und als Theorie mit sehr erstaunlichen und umwälzenden Aussagen für die Schüler interessant zu machen (Motivation).

(2) Nach dem Hinweis auf die Bedeutung von Bezugssystemen für physikalische Überlegungen (z.B. Ortsbestimmungen) und einer kurzen Darlegung der Begriffe (vorerst ohne Uhr) sollen die Schüler den Unterschied zwischen Bezugssystem und Koordinatensystem an Beispielen erläutern. Dazu sollen LBA 114/1 und 115/1 genutzt werden.
Einfache weitere Beispiele sind: Zimmer, 100-m-Bahn oder Kampfbahn. Für die Unterrichtsstunde sind wenige Beispiele auszuwählen.
Bei den zur Zeitmessung erforderlichen Uhren ist auf den physikalischen Vorgang hinzuweisen, der zum Zeitvergleich genutzt wird: Pendel, Quarz, schwingendes Atom, sowie der Zerfall von Elementarteilchen (Halbwertszeit bei Atomkernen, Ph 10) und die Laufzeit von Lichtsignalen (wichtig für die 2. Stunde).

(3) Man soll darauf hinweisen, daß auch A. Einstein mit Hilfe der Systeme Bahndamm und Zug die Gedankenexperimente zur SRT veranschaulichte.
Das Differenzieren nach der Zeit sollte mit Aufgabe 3 (LB S. 115) als vorbereitende HA oder im Mathematikunterricht wiederholt werden.
Die HA 2 (LB S. 155) erfordert im Teil a die Anwendung des klassischen Additionsgesetzes der Geschwindigkeiten. Im Teil b ist der Vektorcharakter der Geschwindigkeit zu berücksichtigen.
Das sollte mit LBA 155/2 kurz erläutert werden.

(4) Ausgehend von Erfahrungen in Zugabteilen oder Flugzeugen werden die Schüler angeregt, Experimente oder Meßanordnungen und Verlauf oder Ergebnis im ruhenden und gleichförmig bewegten System anzugeben.
Es ist herauszuarbeiten, daß Probekörper, auf die keine Kräfte einwirken, in Ruhe bleiben oder sich gleichförmig bewegen, daß also in gleichförmig bewegten Systemen das Trägheitsgesetz gilt. Um den Sachverhalt noch deutlicher zu machen, läßt man überlegen, wie die Experimente in beschleunigten Systemen verlaufen, z.B. im anfahrenden, bremsenden oder eine Kurve durchfahrenden Fahrzeug bzw. in Jahrmarktskarussels wie Spinne oder Kosmonautenschaukel.

2. *Stunde*: *Michelson-Experiment*

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß das Michelson-Experiment von der Gültigkeit des klassischen Additionsgesetzes für Geschwindigkeiten ausgeht und ein ruhendes Inertialsystem nachweisen soll;
- wissen, daß die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum konstant und eine Grenzgeschwindigkeit für Energieübertragung ist;
- können die Erfahrung von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit auf Vorgänge der Lichtausbreitung anwenden, die von verschiedenen Bezugssystemen aus beobachtet werden;
- haben die Erkenntnis gewonnen, daß Ereignisse, die für einen Beobachter gleichzeitig stattfinden, für einen anderen Beobachter nicht gleichzeitig stattfinden müssen.

Unterrichtsmittel

Modell für Newtonsche Ringe

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Zielstellung und Grundlagen des Michelson-Experimentes (E) **5 min**	Durch Anwenden der Addition von Geschwindigkeiten (Zug-Rakete-Licht) zur Fragestellung des Michelson-Experimentes hinführen (UG, LB S. 117, TBa)
(2) Prinzip des Michelson-Experimentes (E) **10 min**	Erklären des Prinzips mit Hilfe der HA 2 (Konvoi von Schiffen und Schnellboot) (SV, UG, TBc)
(3) Aufbau, Durchführung und Ergebnis des Michelson-Experimentes (E) **15 min**	Interferenzvorgang erklären lassen (UG) Die Drehung der Apparatur und ihre Auswirkung auf das Interferenzbild erläutern (UG, TBd) Ergebnis mitteilen und mit Zielstellung und Grundlagen vergleichen lassen (LV, UG, TBb)
Die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist in allen Inertialsystemen unabhängig von der Bewegung der Lichtquelle und des Beobachters stets gleich. Sie ist eine Grenzgeschwindigkeit für die Energieübertragung und für die Bewegung von Körpern.	
(4) Relativität der Gleichzeitigkeit (E) Beobachtung des Lichtes vom System S aus und vom System S′ aus (E, A) Festigung und Vertiefung durch Aufgabe 8 (Fst) Zusammenfassung **15 min**	Problem verdeutlichen durch Anwenden des Erfahrungssatzes über die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit auf ein Gedankenexperiment Erläutern des Versuchsablaufes (LV) Erläutern, was die Beobachter in S und S′ feststellen (UG, SSA, LBA 118/1 bis 118/4) Erkenntnis formulieren Philosophische Aussagen über Raum und Zeit (HA)
Ereignisse, die in einem Inertialsystem gleichzeitig stattfinden, sind in einem anderen, relativ dazu bewegten Inertialsystem nicht gleichzeitig.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Ausgehend vom Stoff der 1. Stunde, mit dem die Schüler nur bekannt zu machen sind (keine Leistungskontrolle), wird wiederholend herausgearbeitet (LV oder UG), daß

1. für die Bewegung eines Körpers von verschiedenen gegeneinander bewegten Bezugssystemen unterschiedliche Geschwindigkeiten gemessen werden und für die betrachteten einfachen Fälle (LBA 116/1) das klassische Additionsgesetz der Geschwindigkeiten gilt, das als allgemeingültig angenommen wurde (TBa), Aufgabe 1, S. 155 wird gelöst, um an die Fragestellung des Michelson-Experimentes heranzuführen.
2. durch die Messung der Lichtgeschwindigkeit in verschiedenen Bezugssystemen ein ruhendes Inertialsystem nachweisbar sein müßte (TBa, aber eine Zeile für Interferenzstreifen (3) frei lassen).

(2) Die Anordnung der Schiffe aus der HA wird entsprechend TBc vor der Stunde an die Tafel gezeichnet oder als Folie projiziert. Die Schüler erläutern die Lösung, die Ergebnisse werden in das TBc eingesetzt oder auf der Folie aufgedeckt. Die ver-

schiedenen Bezugssysteme werden noch einmal hervorgehoben. System S′ ist der Konvoi der Schiffe A, B, C. System S ist die als ruhend angenommene Wasserfläche und kann zusätzlich durch den Leuchtturm L markiert werden.

(3) Jetzt kann gesagt werden, daß man bei der Planung des Michelson-Experimentes der Überzeugung war, Licht verhält sich im Weltraum so wie das Schnellboot im Wasser. Der Lehrer zeichnet und erläutert (LV) den Aufbau und die Funktion des Michelson-Experimentes (TB d).
Wiederholend (UG) oder durch Schülervortrag wird das Zustandekommen der Interferenzstreifen erläutert. Ihre Verschiebung durch Laufzeitänderung wird durch eine gedachte kleine Verschiebung eines Spiegels verständlich gemacht. Das kann am Lehrmittel Newtonsche Ringe durch leichtes Drücken auf eine Stelle des Randes gezeigt werden.
Die Drehung der Apparatur wird durch 2 Skizzen (TB d verdeutlicht und ihre Auswirkung auf die Laufzeit des Lichtes und die Lage der Interferenzstreifen diskutiert (UG). Das erwartete Interferenzbild in TB a eintragen. Der Lehrer teilt das Ergebnis des Michelson-Experimentes mit und skizziert das erhaltene Interferenzbild in TB b. Davon ausgehend sind die Annahmen zu überprüfen (UG) und die Folgerungen in TB b einzutragen. Die Erkenntnis (Merksatz) ist als Grundwissen herauszustellen. Dabei ist der Satz über c als Grenzgeschwindigkeit als eine über das experimentelle Ergebnis hinausreichende Erkenntnis A. Einsteins darzustellen, die in der nächsten Stunde erläutert wird.
Als Motivation für die folgenden Stunden ist darauf hinzuweisen, daß diese Erkenntnis sehr erstaunliche Konsequenzen für die Physik und Philosophie (Raum—Zeit) zur Folge hatte, die im folgenden Unterricht behandelt werden sollen.

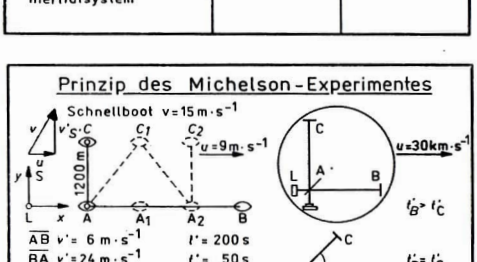
(4) Das Problem der Feststellung der Gleichzeitigkeit im Zusammenhang mit der Lichtausbreitung sollte zuerst an einfachen Aufgabenstellungen verdeutlicht werden. Beispiele: Man hört im Dunkeln zwei Schüsse und sieht zwei Mündungsfeuer. Wie kann man aus Schall- und Lichtwahrnehmung auf Standort und zeitliche Folge schließen? Man sieht zwei Sterne am Himmel zu gleicher Zeit aufleuchten (Supernovae). Explodieren sie gleichzeitig?
Das Gedankenexperiment zur Relativität der Gleichzeitigkeit wird vom Lehrer in seinem gedachten Aufbau und Ablauf erläutert (LV). Die Ergebnisse der Beobachter in S′ und S sollen die Schüler finden. Die Veranschaulichung erfolgt mit Hilfe der LBA 118/1 bis 118/4.
Die Variation des Gedankenexperimentes durch die Aufgabe 1, S. 119, ist nützlich, sie kann auch als Hausaufgabe gestellt werden.
Das Ergebnis ist als erste Folgerung aus der Erkenntnis über die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zu charakterisieren. HA: Welche Aussagen kann man mit Hilfe des dialektischen Materialismus über Raum und Zeit machen? (LB Staatsbürgerkunde Kl. 11)

Tafelbild

Grundlagen des Michelson - Experimentes	Annahmen	Ergebnisse
1. Das klassische Additionsgesetz für Geschwindigkeiten	- ist allgemeingültig	- ist nicht allgemeingültig
- daraus folgt für die Messung von c	- c ist unterschiedlich, $c+u, c-u$	- c ist konstant und Grenzgeschwindigkeit
- Interferenzstreifen - verschiebung		
2. Im Weltraum ist ein ruhendes Inertialsystem	- nachzuweisen	- nicht nachzuweisen

a | b

Bild 162/1



c | d

Bild 162/2

3. Stunde: Relativität der Zeitmessung

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen, daß infolge der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit die Zeit zwischen zwei Ereignissen von an verschiedenen Stellen postierten Beobachtern unterschiedlich gemessen wird;
- wissen von Beispielen, bei denen diese unterschiedlichen Meßergebnisse beobachtet und experimentell nachgewiesen sind;
- vertiefen die in Staatsbürgerkunde vermittelte Erkenntnis, daß Raum und Zeit als Existenzformen der Materie von der Bewegung der Materie abhängig sind.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Relativität der Zeitmessung Gedankenversuch (E) **15 min**	Zielorientierung (LV) Erläutern eines Gedankenversuchs (LV) Berechnen der Laufzeit des Lichtes im System S′ (UG, LBA 119/1, SSA, TBa) Beobachtung des Vorganges von S aus erläutern (UG, LBA 119/2, TBb) Herleiten der Gleichung für t und t' (UG)
Bewegt sich das Inertialsystem S′ relativ zum Inertialsystem S, so werden die Zeiten des Systems S′ im System S um den Faktor $1/\sqrt{1 - u^2/c^2}$ größer gemessen.	
(2) Experimentelle Belege für die Relativität der Zeitmessung (E) — Myonenzerfall — Atomuhren im Flugzeug **15 min**	Erläuterung der Vorgänge beim Myonenzerfall (LV, TBc) Betrachtung im System S′ (LV, UG) Betrachtung im System S (LV, UG)
(3) Relativität der Längenmessung (E) **5 min**	Vergleich von Längenmaßstäben erläutern (LV, LBA 120/2)
Die Relativität der Zeitmessung und die Relativität der Längenmessung sind Folgerungen aus der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Die Relativität der Zeitmessung ist experimentell bestätigt.	
(4) Philosophische Interpretation (Fst) **10 min**	Inhalt der Hausaufgabe darlegen (SV) Raum- und Zeit-Begriff mit der Relativität der Zeit- und Längenmessung verbinden (UG) HA 4, LB S. 155
Raum und Zeit als Existenzformen der Materie sind dialektisch mit der Bewegung als Daseinsweise der Materie verbunden. Eine Änderung der Bewegung zieht eine Änderung von Raum und Zeit nach sich.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die Relativität der Gleichzeitigkeit stellt eine qualitative Aussage darüber dar, daß „Zeit" nicht gleich „Zeit" ist. Die Zusammenhänge zwischen den Meßergebnissen verschiedener Beobachter müssen auch quantitativ erfaßt werden. Grundlage ist die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit.
So wie in LBA 119/1 wird der erste Teil des Gedankenversuches dargestellt, erläutert und durchgerechnet.
Der zweite Teil des Gedankenversuches ist schwieriger. Die Beobachter müssen „zufällig" an den Stellen stehen, wo der Abgang und die Ankunft des Lichtsignals stattfinden. Die Herleitung ist einfach, der Zahlenwert für t wird mitgeteilt. Man kann ihn als HA nachrechnen lassen. Bei der Erläuterung der Zeitdehnung wäre es falsch zu sagen, die bewegte Uhr ginge nach. Jede Uhr geht in ihrem System richtig. Die bewegte Uhr geht, vom ruhenden Beobachter aus beurteilt, langsamer. Das gilt auch in der Umkehrung, auf die man aus Zeitgründen nur hinweisen kann.

An dieser Stelle kann die Bedeutung des Faktors $1/\sqrt{1 - u^2/c^2}$ für die gesamte SRT erläutert und die Aussage über c als Grenzgeschwindigkeit durch Diskussion des Wurzelausdrucks für $u > c$ und $u = c$ untermauert werden. Die Bemerkung, daß die mathematische Formulierung den physikalischen Sachverhalt richtig widerspiegelt, ist notwendig.

(2) Entstehung, Eigenschaften und die Intensitäten (Zahl der in einer bestimmten Fläche und Zeit registrierten Myonen) werden mitgeteilt und das Tafelbild entwickelt. Um die durch den Zerfall im System S' geringer werdende Teilchenanzahl besser zu verdeutlichen, kann man von 32 Teilchen statt von 4 Teilchen in LBA 119/3 ausgehen und feststellen lassen, nach welcher zurückgelegten Strecke nur noch 1 Teilchen vorhanden wäre.
Mit diesem Beispiel ist besonders die Realität des unterschiedlichen Zeitablaufs zu beweisen.
Bei dem Versuch mit Atomuhren wurden folgende Ergebnisse erzielt: Nach dem Umfliegen der Erde gegen die Erddrehung gingen die mitgeführten Uhren $10 \cdot 10^{-12}$s nach. Beim Rundflug mit der Erddrehung gingen sie $3 \cdot 10^{-12}$ s nach.
Hier ist darauf hinzuweisen, daß der Rundflug um die Erde keine geradlinige Bewegung ist und die exakte Berechnung nur auf der Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie möglich ist, in die auch das Zwillingsparadoxon gehört.

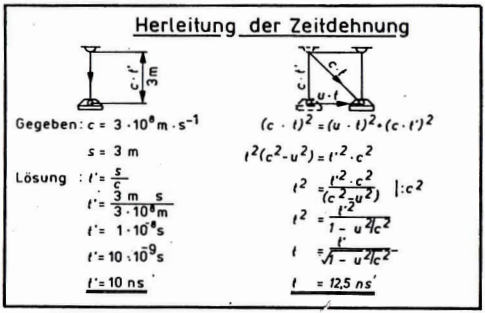
(3) Auf die Relativität der Längenmessung ist nur kurz hinzuweisen, und die LBA 120/2 ist als Illustration zu nutzen.

(4) Die Hausaufgabe zur Wiederholung über Raum und Zeit kann als Schülervortrag aufgegeben werden. In ihm sollen folgende Schwerpunkte enthalten sein bzw. durch den Lehrer ergänzt werden:

- Entwicklung durch die Praxis und die Wissenschaft,
- Die Standpunkte Kants und Newtons,
- Die dialektisch-materialistische Raum-Zeit-Auffassung (LB Stabü Kl. 11),
- Der Beitrag der SRT: Der Raum ist nicht nur vom Vorhandensein materieller Körper abhängig, sondern das Maß des Raumes ist von deren Bewegung abhängig (Relativität der Längenmessung). Die Zeit ist nicht nur von der Bewegung der Materie abhängig, das Maß der Zeit ändert sich mit der Änderung der Bewegung (Relativität der Zeitmessung).

(5) Die Hausaufgabe konfrontiert den Schüler durch das Ergebnis bei $v > c$ mit der Erkenntnis, daß c Grenzgeschwindigkeit ist. Er erkennt, daß irgend etwas in der Rechnung falsch sein muß. Der Widerspruch dient als Motivation für die folgende Unterrichtsstunde. Auf diesen entstehenden Widerspruch sind die Schüler in geeigneter Form vorzubereiten.

Tafelbild



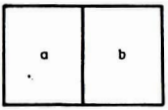
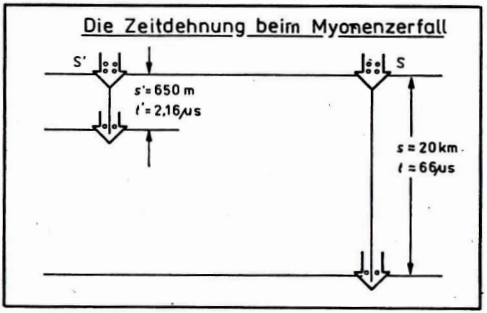


Bild 165/1



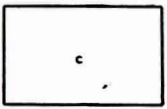


Bild 165/2

4. Stunde: Relativistische Addition der Geschwindigkeiten

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen, daß das klassische Additionsgesetz für Geschwindigkeiten nur für kleine Relativgeschwindigkeiten gültig ist und die klassische Mechanik in der umfassenderen Theorie, der speziellen Relativitätstheorie, als Sonderfall enthalten ist;
- wissen, daß die Masse eines Körpers mit der Geschwindigkeit zunimmt, weil c Grenzgeschwindigkeit ist;
- kennen den Verlauf der Abhängigkeit der Massezunahme von der Geschwindigkeit und kennen Beispiele für den experimentellen Nachweis der relativistischen Masseveränderlichkeit.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Überblick über den bisherigen Stoff (W, Z) **5 min**	Übersicht über bisherige Folgerungen (Z, TBa) Problem der Addition der Geschwindigkeiten (UG)
(2) Relativistische Addition der Geschwindigkeiten (E, A) **10 min**	Problem verdeutlichen Gleichung mitteilen Berechnen des Falles $u = c \quad v' = c$ Experimentelle Bestätigung mit π^0-Mesonen (LV)
(3) Die Beziehung zwischen klassischer Mechanik und relativistischer Mechanik (A, E) **5 min**	Diskutieren des Falles $u \ll c$ und $v' \ll c$ (UG) Klassische Addition der Geschwindigkeiten als Sonderfall der relativistischen Addition der Geschwindigkeiten (UG) Verallgemeinern auf Mechanik insgesamt (LV)
Die Erfahrung, daß c Grenzgeschwindigkeit ist, wird durch das relativistische Additionsgesetz der Geschwindigkeiten richtig wiedergegeben. Die Gesetze der klassischen Mechanik sind in der umfassenderen Theorie, der speziellen Relativitätstheorie, als Sonderfall für kleine Relativgeschwindigkeiten enthalten.	
(4) Die relativistische Masseveränderlichkeit (E) **25 min**	HA (K) Aussage der klassischen Mechanik und der SRT gegenüberstellen (UG, LBA 122/2, TBb) Folgerung für die Masse Begriff der Masse (UG) Messungen von Kaufmann als experimenteller Befund (LV, LBA 123/2) Gleichung mitteilen (LV) Diagramm m/m_0-v Beschleuniger als experimenteller Beweis und Anwendung (LV, HA)
Die Masse m eines Körpers mit der Ruhmasse m_0 hängt von der Relativgeschwindigkeit v ab.	$m = m_0/\sqrt{1-\beta^2}$ $\beta = \frac{v}{c}$

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die Grundlagen des Michelson-Experimentes werden kurz wiederholt, TB 162/1 als Folie und in Anlehnung an die Zusammenfassung LB S. 121 der Erkenntnisweg dargestellt, sowie die bisher behandelten Schlußfolgerungen als Zwischenbilanz zusammengestellt. Die relativistische Addition der Geschwindigkeiten wird am Schluß der Stunde darin aufgenommen.

(2) Man kann an die in der 2. Std. bearbeitete Aufgabe 1 erinnern oder Aufgabe 3, S. 155, (ohne relativistische Rechnung) stellen, um deutlich zu machen, daß nach klassischer Rechnung eine Geschwindigkeit $v > c$ herauskommt (UG).
Die Gleichung wird mitgeteilt und als Extremfall das Ergebnis für $u = c$ und $v' = c$ berechnet. Man kann zusätzlich die Gleichung für $v' = c$ und $u = u$ lösen lassen ($u = 30\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$), um zu zeigen, daß mit dem Michelson-Experiment

keine verschiedenen Geschwindigkeiten für das Licht festgestellt werden können. Der 1. Teil der Erkenntnis wird formuliert und die experimentelle Bestätigung durch π^0-Mesonen und weitere Experimente erläutert.

(3) Ausgehend vom Problem, daß die klassischen Gesetze aus der Erfahrung gewonnen waren und nicht völlig falsch sein können, läßt man die Gleichung für $u \ll c$ und $v' \ll c$ diskutieren (UG) und die klassische Addition als Sonderfall für kleine Geschwindigkeiten darstellen.
Diese Erkenntnis wird auf die gesamte Mechanik erweitert und der 2. Teil der Erkenntnis formuliert.

(4) Ausgehend vom Ergebnis der Hausaufgabe wird der Widerspruch zwischen klassischer Rechnung und Erkenntnis der SRT formuliert und im Diagramm LBA 122/2, TB b dargestellt. Der funktionale Zusammenhang ist zu erarbeiten: Wenn F = konstant und die gestrichelte Kurve gilt, folgt aus $a = F/m$, daß $a \to 0$ und $m \to \infty$ strebt.
Es ist herauszuarbeiten, was man unter Masse versteht, und zu betonen, daß Masse nicht mit Menge gleichzusetzen ist, daß also die Masse größer werden kann und die Anzahl der Atome eines Körpers (Menge) gleich bleibt.
Die Messungen für e/m von Kaufmann (1901) sind mitzuteilen (LBA 123/2).
Die Gleichung für die relativistische Masseveränderlichkeit wird gegeben und der Unterschied zwischen Ruhmasse und Masse erläutert (LV) sowie begründet, warum v statt u zu setzen ist. Das m/m_0-v-Diagramm ist an der Tafel wie folgt darzustellen: Abszisse $v = 3$ m lang (aufgeklappte Fahnentafel ohne linken Flügel), Ordinate $m/m_0 = 7$ bis 10 Einheiten (beliebig).
Die Werte lt. LBA 123/1 eintragen lassen.
Zur Veranschaulichung sollte man bewußtmachen, daß bei diesem Maßstab die 1. kosmische Geschwindigkeit 0,1 mm neben dem linken Nullpunkt einzutragen wäre, aber die mit Elektronen in Beschleunigern erreichte Geschwindigkeit würde 10^{-6} mm neben dem Punkt für $v = c$ liegen.

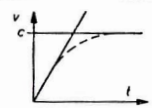
(5) Zur Festigung kann Aufgabe 5, LB S. 155, als HA aufgegeben werden.

Tafelbild

Grundlage und Folgerungen
der speziellen Relativitätstheorie

Exp. Erfahrung: $c = c' =$ konstant, c Grenzgeschwindigkeit
Folgerungen: 1) Relativität der Gleichzeitigkeit $t \neq t'$
2) Relativität der Zeitmessung $t > t'$
3) Relativität der Längenmessung $l < l'$
4) Relativistische Addition der Geschwindigkeit

Die relativistische Masseveränderlichkeit



F = konstant
$F = m \cdot a$
$a = \frac{F}{m}$
Aus --- folgt $a \to 0$
und $m \to \infty$

a

b

Bild 167/1

5. *Stunde: Masse-Energie-Beziehung*

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den Zusammenhang zwischen Energieänderung und Masseänderung;
- können die Ruhenergie eines Elektrons berechnen;
- wissen, daß die Masse-Energie-Beziehung eines der umfassendsten Gesetze der Physik und durch Kernprozesse experimentell bestätigt ist;
- verstehen, daß der Energieerhaltungssatz den Satz von der Erhaltung der Masse einschließt.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Motivation (E) **5 min**	Erläutern eines Zusammenhangs zwischen der Entdeckung der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und dem Nutzbarmachen der Kernenergie (LV)
(2) Masse-Energie-Beziehung (E) **20 min**	HA (K) Aufstellen und Vergleichen der Gleichungen (150) und (151) (UG, LB) Entwickeln der Gleichung (153) und Prüfen der Einheit der Terme Erläutern der Masse-Energie-Beziehungen (UG, LV, TBa, b)
Masse und Energie sind zueinander proportional: Der Proportionalitätsfaktor ist das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit	$E = m \cdot c^2$
(3) Anwendung der Masse-Energie-Beziehung und experimentelle Bestätigung (E, A) **15 min**	Hinweisen auf Allgemeingültigkeit der Masse-Energie-Beziehung (LV) Anwenden auf Vorgänge mit Energieänderung (UG) Berechnen der Ruhenergie eines Elektrons (SSA, LB S. 124)
(4) Zusammenhang von Energieerhaltungssatz und Satz von der Erhaltung der Masse (S) **5 min**	Darstellen von Masse und Energie als zwei Eigenschaften der Materie (LV) HA (LB S. 155, Nr. 7, 8, SV für 6. Stunde)
Die Masse-Energie-Beziehung ist von fundamentaler Bedeutung für die Physik und für die Energieerzeugung; sie ist experimentell bestätigt. Masse und Energie sind zwei voneinander abhängige Eigenschaften der Materie.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Über die Masse-Energie-Beziehung erwerben die Schüler sichere Kenntnisse. Das Berechnen der Ruhenergie ist verbindliche Schülertätigkeit.

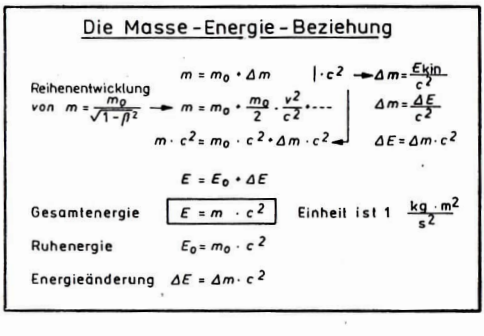
(1) Es löst bei den Schülern Erstaunen aus, wenn sie hören, daß Albert Einstein aus der Tatsache der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, durch Nachdenken und logische Schlüsse mit Hilfe der Mathematik, eine Möglichkeit gewaltiger Energiefreisetzung vorhersagen konnte.

(2) Die Schüler sollen herausfinden, daß die Massezunahme mit der Zunahme der kinetischen Energie zusammenhängt.
Die Gleichung $m = m_0 + \Delta m$ wird erarbeitet (LB S. 123, Δm ist auch quantitativ aus der HA deutlich zu machen). Die aus der m-m_0-Beziehung herleitbare Gleichung (151) wird nur mitgeteilt.
Die Prüfung der Einheit des Terms $m \cdot c^2$ berechtigt, für die anderen Terme ebenfalls Energiegrößen einzusetzen und durch Zusammenfassen der untereinanderstehenden Größen die Masse-Energie-Beziehung aufzuschreiben.
Die Gleichung $E = m \cdot c^2$ wird verbal formuliert.

(3) Bei allen Prozessen, die mit Energieänderungen einhergehen, muß es also auch Masseveränderungen geben (Behauptung). Ist das so? Beispiele nennen lassen!
Man läßt die Masse-Energie-Beziehung auf exotherme oder endotherme chemische Prozesse, Erwärmen eines Körpers, Laden eines Akkumulators oder Kondensators, kernphysikalische Prozesse, anwenden und führt die sehr genaue experimentelle Bestätigung bei Kernprozessen an.
Man weist darauf hin, daß die Masse eines Körpers in Energie umgerechnet werden kann und in Tabellen von Elementarteilchen die Ruhenergie angegeben wird.
Die Ruhenergie eines Elektrons wird von den Schülern in MeV berechnet. Diese Aufgabe kann bei Zeitmangel auch als HA gestellt werden.

(4) Frage: Welche Beziehung ergibt sich aus der Gleichung $E = m \cdot c^2$ zwischen Energieerhaltungssatz und Satz von der Erhaltung der Masse?
Masse und Energie sind als zwei voneinander abhängige Eigenschaften der Materie darzustellen. Anschließend wird die HA aufgegeben.

Tafelbild



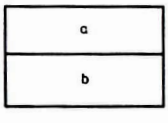


Bild 1/169

Stundenziele

Die Schüler

- können die Kenntnisse über die Masse-Energie-Beziehung auf die Paarzerstrahlung anwenden und erkennen, daß nur die Gesamtenergie Erhaltungsgröße ist;
- erkennen, daß die Erhaltungssätze für Energie, Ladung und Impuls einen Beitrag zur Erkenntnis der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie leisten;
- wissen, daß die Erscheinungsformen der Materie Stoff und Feld ineinander umwandelbar sind;
- können die Persönlichkeit und Leistungen Albert Einsteins würdigen.

Unterrichtsmittel

U-Kern, 2 I-Kerne, 2 Spulen (500 Wdg), Aluminiumfolie bzw. -blech (0,1 mm und 1,0 mm), Unterrichtsquellensatz, Zählrohr mit Kabel, Zählrohradapter, Polydigit, Bleiblok (40 mm dick).

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Elektron und seine Absorption (E) **5 min**	Erläutern der Strahlenquellen und des Versuchs DE: Nachweisen und Messen der Absorption der Elektronen (LV, UG, TBa)
(2) Masse-Energie-Beziehung (W, K) **5 min**	$E = m \cdot c^2$ interpretieren, auf physikalische Vorgänge anwenden HA (K) Philosophische Deutung (SV)
(3) Absorption des Positrons Paarzerstrahlung (E, S) **20 min**	Eigenschaften des Positrons (SV) DE: Absorptionsmessung (TBb) Erläutern der Paarzerstrahlung und Aufstellen der Gleichungen (LV, UG, TBc) Erhaltungssätze und philosophische Deutung (UG)
Bei der Paarzerstrahlung wandeln sich ein Elektron und ein Positron in zwei Gammaquanten um. Materie der Erscheinungsform Stoff wandelt sich in die Erscheinungsform Feld um. Die Gültigkeit der Erhaltungssätze für Masse, Energie, Ladung und Impuls bestätigt, daß die Materie unerschaffbar und unzerstörbar ist.	
(4) Würdigung Albert Einsteins (E) **15 min**	Lebensweg, wissenschaftliche Leistungen, politisches Wirken (SV, LV, SSA mit LB S. 125)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Die Anwendung der Masse-Energie-Beziehung auf die Paarzerstrahlung ist als sicheres Wissen zu vermitteln.
Da die Messungen zum Demonstrationsexperiment zeitaufwendig sind, sollten Messungen und Erläuterungen parallel durchgeführt werden.

(1) Vor Stundenbeginn ist der Versuch nach LBA 124/1 aufzubauen und die Nullrate für β^- über 5 min zu messen (eventuell durch Schüler).
Die Stunde beginnt mit der Erläuterung der Strahlungsquellen. Der Lehrer wirft das Problem der Trennung von γ-Strahlung und Elektronen bzw. Positronen-Strahlung auf, demonstriert die Ablenkung der Elektronen (Kr-Präparat) durch das Magnetfeld und zeigt qualitativ die zunehmende Absorption durch Aluminiumfolie (0,1 mm). Die Zählrate nach Absorption durch 1 mm Aluminium wird über 5 min gemessen (TBa).

(2) In dieser Zeit erfolgt die Wiederholung und Leistungskontrolle.

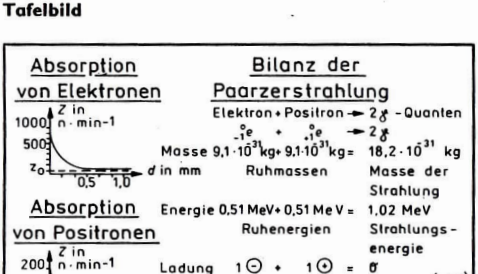
(3) Der Lehrer zeigt, daß die Positronen (Na-Präparat) nur nach Umpolung des Magnetfeldes zum Zählrohr gelangen und setzt die Messung der Nullrate über 5 min in Gang, die ein Schüler überwacht. Die Eigenschaften des Positrons kann ein Schüler vortragen (LB Ph 10, S. 11, 12 und 31). Der Vorgang der Paarzerstrahlung wird vom Lehrer erläutert (LBA 124/2).
Dabei kann man auf die Antiteilchen hinweisen, man muß dann aber auch den Begriff Antimaterie als irreführend erläutern.
Im UG wird erarbeitet, daß die entstehende γ-Strahlung an einer Zählrate $Z > Z_0$ erkennbar sein muß.
Die Absorption der Positronen durch 0,1 mm Aluminiumfolie wird qualitativ gezeigt und mit 1 mm Aluminium über 5 min gemessen (TBb).
In dieser Zeit werden die Gleichungen und Bilanzen erarbeitet (TB, LB S. 125, Tbc).
Das Ergebnis der Messung zeigt, daß die Zählrate deutlich über der Nullrate liegt. Der Lehrer teilt mit, daß sie auch bei dickeren Aluminiumschichten wegen der großen Durchdringungsfähigkeit der γ-Strahlung kaum abnimmt.
Im Zusammenhang mit den Erhaltungssätzen ist darzulegen, daß die mitunter anzutreffende Formulierung, daß sich Masse in Energie umwandelt, falsch ist, weil wegen der Masse-Energie-Beziehung beide Größen zueinander proportional sind. Es kann nicht eine der beiden Größen verschwinden und die andere entstehen.
Die Aussage, daß nur E, aber nicht E_0 und ΔE Erhaltungsgrößen sind, kann durch Vergleich mit $E_{\text{mech}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}}$ verdeutlicht werden.
Bei der Umwandlung der Erscheinungsformen Stoff und Feld lassen sich die Kenntnisse über die Welle-Teilchen-Eigenschaften bei Mikroobjekten anwenden. Obwohl es keine starren Grenzen zwischen Teilchen und Felder gibt, berechtigt das Vorhandensein von Ruhmasse beim Elektron und Positron die vorrangige Anwendung des Teilchenmodells.

(4) Die Würdigung A. Einsteins kann in verschiedenen Formen erfolgen:

- als (auch emotional angelegter) Lehrervortrag,
- als Schülervortrag
  - zum Lebensweg
  - zu den wissenschaftlichen Leistungen
  - zu seinem politischen Wirken,

— als Ton-Bild-Vortrag (bei den Kreisvorständen der Urania vorhanden, Dauer 45 Minuten, auszugsweise nutzen oder als außerordentliche Veranstaltung durchführen).

Tafelbild



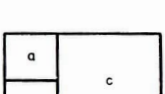


Bild 172/1

Stoffgebiet Kernenergie

6 Stunden

Vorbemerkungen

In diesem Stoffgebiet wird das von den Schülern bereits erworbene Wissen über Elementarteilchen, Atomkerne und Kernreaktionen vertieft und durch Einbeziehung quantitativer Betrachtungen zur Nutzung der Kernbindungsenergie erweitert. Bei der didaktisch-methodischen Gestaltung des Unterrichts kommt es darauf an, nicht nur Fakten zu vermitteln, sondern bei den Schülern Verständnis und Einsicht in den Weg, auf dem diese Kenntnisse gewonnen wurden, zu wecken. So ist der Einführung des Energietopfmodells Aufmerksamkeit zu widmen, weil den Schülern damit sowohl die energetischen Verhältnisse bei der Annäherung von Nukleonen an einen Atomkern als auch die Merkmale des Begriffes Kernbindungsenergie anschaulich beschrieben werden. Am Beispiel des Energietopfmodells bietet sich weiterhin die Möglichkeit an, den Schülern zu erläutern, wie anhand von Modellen Prognosen aufgestellt werden, deren experimentelle Überprüfung neue Erkenntnisse liefert.

Ein weiterer Schwerpunkt dieses Stoffgebietes ist die Behandlung des Massedefektes, weil mit diesem Begriff die Klärung weltanschaulich-philosophischer Probleme verknüpft ist. Der historisch geprägte Begriff „Massedefekt" bedeutet im physikalischen Sinn nicht Verlust oder Fehlbetrag. Begrifflich klar werden die Zusammenhänge, wenn man sagt, daß nach der Einsteinschen Masse-Energie-Beziehung mit jeder **Energieänderung** eine **Masseänderung** verbunden ist. Es ist deshalb in

diesem Zusammenhang unbedingt notwendig, den physikalischen Inhalt der Masse-Energie-Beziehung aus der speziellen Relativitätstheorie zu wiederholen. Der Nachweis, daß bei Kernreaktionen keine Masse verloren geht, wird den Schülern bei der Behandlung des Aufbaus von Atomkernen aus Nukleonen, der Kernspaltung und Kernfusion anhand einer vollständigen Energie- bzw. Massenbilanz erbracht. Damit wird ein wesentlicher Beitrag zur Vermittlung eines modernen, wissenschaftlichen Weltbildes geleistet. Der Massedefekt sollte in die Gesamterfahrung der Physik eingeordnet werden. Sowohl in der Makro- als auch in der Mikrophysik gilt der Erfahrungssatz, daß selbständig ablaufende Naturvorgänge so gerichtet sind, daß ein System vom Zustand höheren in einen Zustand niedrigeren Energiegehaltes übergeht. Der energieärmere Zustand ist dabei der stabilere. Die Differenz der Energie wird frei. Bei Vorgängen in der Atomhülle (Lichtemission) ist die Energiedifferenz so gering, daß eine Masseänderung nicht registrierbar ist.

Ein dritter Schwerpunkt besteht darin, die praktische Anwendung und Bedeutung kernphysikalischer Erkenntnisse am Beispiel des Kernspaltungs- und eines zukünftigen Kernfusionsreaktors zu erläutern und mit den Schülern zu diskutieren. Mit diesen Betrachtungen wird ein wesentlicher Beitrag zur Vorbereitung der Schüler auf die selbständige Auseinandersetzung mit modernsten Errungenschaften der Physik und Technik geleistet.

Im Zusammenhang mit der Behandlung der Kernspaltung und Kernfusion sind sowohl die Leistungen der sowjetischen Forschung auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie als auch die wissenschaftlichen Leistungen und die gesellschaftspolitische Haltung der Wissenschaftler O. Hahn und J. W. Kurtschatow zu würdigen.

Es ist zu beachten, daß die in den Stundenentwürfen fixierten Hausaufgaben nicht nur der Vorbereitung der folgenden Stunde dienen, sondern daß sie gleichzeitig eine Festigung der im Lehrplan geforderten Schülertätigkeiten darstellen.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Feld eines Atomkerns-Energietopfmodell** Eigenschaften der Kernkräfte, Energietopfmodell, Kernbindungsenergie E_B	Kernladungszahl, Protonenzahl, Neutronenzahl, Massenzahl, Symbolschreibweise für Atomkerne (Ph 10) Schrittfolge der Modellmethode (Ph bis 10)	LB S. 130 bis 132
2. **Kernbindungsenergie und Massedefekt** Zusammenhang zwischen E_B und Δm_0, $E_B = \Delta m_0 \cdot c^2$, philosophische Betrachtungen zum Massedefekt	Materie (Stabü 11)	LB S. 132 bis 134

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimemte, Beziehungen zum Lehrbuch
3. **Die Kernbindungsenergiekurve** Möglichkeiten der Freisetzung von Kernbindungsenergie, Energiebilanz bei einer Kernspaltungsreaktion	Kernspaltung (Ph 10)	LB S. 134 bis 135
4. **Die Kernspaltung** Erläutern bekannter Erhaltungssätze am Beispiel der Kernspaltung, physikalisch-technische Bedingungen einer gesteuerten Kernspaltung, Kernkraftwerke der DDR	Erhaltungssätze für Energie, Masse, Impuls und Ladung (Ph 9, 11) Kettenreaktion (Ph 10)	LB S. 135 bis 139 Wissensspeicher Physik S. 305
5. **Die Kernfusion** Begründung und Berechnung der freigesetzten Kernbindungsenergie bei einer Kernfusion, Bedingungen für eine kontrollierbare Kernfusion, Ungelöste Probleme einer kontrollierbaren Kernfusion	Kernfusion (Ph 10), Maxwellsche Energieverteilung (Ph 11) Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters (Ph 9) Temperaturbegriff (Ph 11)	LB S. 139 bis 141 PSV 9, V 1.2.5.
6. **Würdigung der gesellschaftspolitischen Haltung von Wissenschaftlern der Kernphysik — Auseinandersetzung mit philosophischen Verallgemeinerungen kernphysikalischer Erkenntnisse** Würdigung der Forscher Hahn und Kurtschatow, philosophische Betrachtungen der Kernphysik Wiederholung und Festigung	Materie, Erkennbarkeit der Welt (Stabü 11)	LB S. 144 bis 146 TR-92 Herneck, Bahnbrecher des Atomzeitalters, Buchverlag „Der Morgen" Berlin

1. Stunde: Feld eines Atomkerns — Energietopfmodell

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß Kernkräfte die Nukleonen im Kern zusammenhalten;
- wissen, daß das Feld eines Atomkerns mit Hilfe des Energietopfmodells beschrieben werden kann;

- wissen, daß die potentielle Energie eines freien Nukleons stets größer ist als die eines gebundenen;
- können den Begriff Kernbindungsenergie anhand des Energietopfmodells erläutern;
- vertiefen ihre Einsicht von der Erkennbarkeit der Welt bei der Erforschung von Mikroobjekten.

Unterrichtsmittel

FO 1: Darstellungsmöglichkeiten von Feldern (Selbstanfertigung, Bild 177/3)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Einführung in das Stoffgebiet „Kernenergie" (E) Wesentliche Kenntnisse aus dem Stoffgebiet „Kernphysik" (W) **10 min**	Motivieren der weiteren Behandlung der Kernphysik (UG) Erläutern der Kenntnisse über Elementarteilchen und den Aufbau des Atomkerns (UG)
Die Kenntnisse aus der Klasse 10 über den Aufbau des Atomkerns sind weiter zu vervollständigen.	
(2) Wesentliche Eigenschaften der Kernkräfte (E) **10 min**	Erarbeiten wesentlicher Eigenschaften der Kernkräfte (LB, SSA) Klären des Begriffs Atomkern (LB, SSA)
Kernkräfte halten die Nukleonen im Kern zusammen. Kernkräfte besitzen sehr kleine Reichweiten, große Beträge und sind ladungsunabhängig. Der Kernradius wird definiert als die Reichweite der Kernkräfte.	
(3) Das Energietopfmodell (E) **25 min**	Schaffen des Modells (FO1, TB, LV) Erarbeiten von Aussagen und neuen Begriffen mit Hilfe des Modells (TB, UG) Beschreiben der Grenzen des Energietopfmodells (LV) Stellen der HA: LB S. 130 bis 133 Aufgaben 1 und, LB S. 131 u. 1 u. 2, LB S. 133, u. Masse-Energie-Beziehung (W) Verteilen von SV für die 4. und 6. Stunde
Das Feld eines Atomkerns kann mit Hilfe des Energietopfmodells beschrieben werden. Die potentielle Energie eines freien Nukleons ist stets größer als die eines gebundenen. Kernbindungsenergie (Merksatz: LB S. 132)	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Zur Motivation werden folgende Probleme genannt, die bisher im Unterricht ungeklärt blieben.

- Warum wird bei der Kernspaltung und Kernfusion Energie frei?
- Welche physikalischen und technischen Bedingungen sind für die Realisierung einer gesteuerten Kernfusion notwendig?

— Welche Belege liefert die Kernphysik für die These von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie?

Die anschließende Wiederholung über Elementarteilchen und den Aufbau des Atoms dient der Sicherung des Ausgangsniveaus. Dabei sind die Begriffe Kernladungszahl, Protonenzahl, Neutronenzahl und Massenzahl bei der Symbolschreibweise für Atomkerne anzuwenden.

(2) Mit Hilfe des Lehrbuches S. 130 machen sich die Schüler Aufzeichnungen über wesentliche Eigenschaften der Kernkräfte und den Begriff des Atomkerns. Im anschließenden Unterrichtsgespräch werden die Ergebnisse vorgetragen.

(3) Im Lehrervortrag wird anhand der Schrittfolge der Modellmethode das Energietopfmodell eingeführt. Zur Schaffung des Modells (1. Schritt) wird von der folgenden Frage ausgegangen: Welche Möglichkeit gibt es, um Felder (Gravitationsfelder, elektrostatische Felder) graphisch darzustellen? An dieser Stelle ist es im LV zweckmäßig, die Schüler auch auf jene in der Tabelle (FO) dargestellten Beschreibungsmöglichkeiten aufmerksam zu machen, die bei der Behandlung der betreffenden Felder nicht im Mittelpunkt der Betrachtungen standen. Es kommt darauf an, den Schülern zu zeigen, daß das Feldlinienmodell nicht die einzige Beschreibungsmöglichkeit eines Feldes darstellt. Anschließend wird das Energietopfmodell an der Tafel entwickelt, indem in einem Energie (E_{pot})-Weg(r)-Diagramm der Kernradius (R), der Verlauf der potentiellen Energie eines Protons für $r > R$ und für $r < R$ (vgl. LB S. 130) eingetragen werden. Zur Veranschaulichung der atomaren Wechselwirkungen zwischen Proton und Atomkern kann der Vergleich einer anrollenden Kugel an einen Kraterberg herangezogen werden (vgl. LB S. 131).
Aus diesem Modell (2. Schritt) sind zwei wesentliche Folgerungen zu ziehen:

— Die potentielle Energie eines freien Nukleons ist stets größer als die eines gebundenen.
— Mit Hilfe der Analogiebetrachtungen zum mechanischen Modell (Kraterberg) wird die kernphysikalische Größe Kernbindungsenergie eingeführt.

Zur Erläuterung des Begriffes „potentielle Energie eines Nukleons" sind vom Lehrer folgende Hinweise hervorzuheben. Der Begriff „potentielle Energie" wird u. a. dann in der Physik angewendet, wenn die Lagebeziehung eines Körpers (physikalisches Objekt) in einem Kraftfeld beschrieben wird. Es ist daher legitim, dem Nukleon in bezug auf die Kernkraft potentielle Energie zuzuordnen. So ist festgelegt worden, daß die Nukleonen in großer Reichweite vom Atomkern den Wert Null und im gebundenen Zustand (Atomkern) einen negativen Wert an potentieller Energie besitzen.
Zum Abschluß wird im LV auf die Anwendbarkeit und Grenzen des Modells hingewiesen (3. Schritt). Es ist hervorzuheben, daß das Modell keine Aussagen über die Wechselwirkungen der Teilchen im Kern macht. Die Modellierung ist nicht nur für das Feld eines Atomkerns anwendbar, sondern auch auf andere zeitlich konstante Felder übertragbar.

Tafelbild

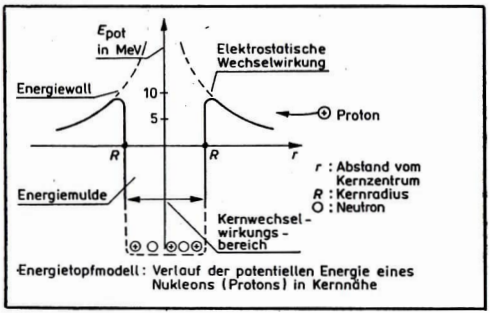


Bild 177/1

Folie

Bild 177/2

	Feldlinien-modell	Darstellung der Kraft in einem Kraft-Weg (Abstands)-Diagramm	Darstellung der potentiellen Energie eines Probekörpers in einem Energie-Weg-(Abstands)-Diagramm
Gravitations-feld	anwendbar	anwendbar	anwendbar
Elektro-statisches Feld	anwendbar	anwendbar	anwendbar
Kernfeld	nicht anwendbar, da die Feld-stärke nicht meßbar ist	nicht anwendbar, da das Abstands-gesetz der Kernkraft nicht bekannt ist	anwendbar

2. Stunde: Kernbindungsenergie und Massedefekt

Stundenziele

Die Schüler

— wissen, daß zwischen der Ruhmasse eines Atomkerns und der Summe der Massen seiner Bausteine eine Ruhmassendifferenz auftritt;

- wissen, daß man mit Hilfe des Massedefektes und der Einsteinschen Masse-Energie-Äquivalenz $E = m \cdot c^2$ die Kernbindungsenergie $E_B = \Delta m_0 \cdot c^2$ bestimmt;
- wissen, daß eine vollständige Massen- bzw. Energiebilanz die These vom Verschwinden von Masse bei Kernbildungsprozessen widerlegt;
- können anhand des Energietopfmodells und der Masse-Energie-Äquivalenz den Zusammenhang zwischen E_B und Δm_0 erläutern;
- können die Bindungsenergie von Atomkernen berechnen;
- können die dialektische Einheit von Masse und Energie bei der Bildung von Atomkernen erläutern.

Unterrichtsmittel

FO: Energietopfmodell (wie 1. Stunde, Bild 177/1)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Energietopfmodell (Fst) und HA (K) **10 min**	Erläutern des Energietopfmodells für ein Proton und Neutron (SV, UG)
Festigung wesentlicher Aussagen aus dem Energietopfmodell, des Begriffes Kernbindungsenergie und Wiederholung der Masse-Energie-Äquivalenz.	
(2) Der Massedefekt – eine Möglichkeit der Bestimmung der Kernbindungsenergie (E, A) **20 min**	Aufstellen von Prognosen mit Hilfe des Energietopfmodells und der Masse-Energie-Äquivalenz zur Einführung des Massedefektes (UG) Überprüfen des Wahrheitswertes der Prognosen (TBa, UG) Darstellen des Zusammenhangs zwischen Massedefekt und Kernbindungsenergie (TBb, LV) Berechnen von E_B an Beispielen (LB S. 155 Aufgabe 4, SSA)
– Massedefekt (LB S. 133 Merksatz) – Die Kernbindungsenergie läßt sich mit Hilfe des Massedefektes bestimmen. $E_B = \Delta m_0 \cdot c^2$	
(3) Philosophische Bemerkungen zum Massedefekt (E) **15 min**	Aufstellen einer vollständigen Massen- bzw. Energiebilanz bei Kernbildungsprozessen (LB S. 136, SSA; TBc, LV) Stellen der HA (LB S. 155 Aufgabe 5)
Eine vollständige Massen- bzw. Energiebilanz bei Kernbildungsprozessen unter Anwendung der Masse-Energie-Äquivalenz widerlegt die Auffassungen vom Verschwinden von Masse und Energie. Materie ist unerschaffbar und unzerstörbar.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Der Begriff „Massedefekt" und dessen Zusammenhang mit der Kernbindungsenergie wird mit den Schülern erarbeitet, indem die Folgerung aus dem Energie-

topfmodell — die potentielle Energie freier Nukleonen ist stets größer als die gebundener — ausführlich analysiert und folgende Prognosen formuliert werden:

1. Die Abnahme an potentieller Energie beim Übergang freier Nukleonen zum gebundenen Zustand muß nach der Masse-Energie-Äquivalenz einer Abnahme der Ruhmasse der Nukleonen entsprechen.
2. Es muß experimentell überprüfbar sein, daß bei der Vereinigung von freien Nukleonen zu einem Atomkern Energie frei wird.
3. Die bei der Bildung des Atomkerns freiwerdende Energie ist nach der Masse-Energie-Äquivalenz der Masseabnahme der Nukleonen proportional.

Mit den Schülern werden Möglichkeiten diskutiert, um den Wahrheitswert dieser Prognosen zu überprüfen. Zur Überprüfung der 1. Prognose erhalten die Schüler die Aufgabe, die Ruhmasse des Heliumkerns aus der Massensumme seiner Bausteine zu berechnen und mit der experimentell ermittelten Kernmasse zu vergleichen. Anhand des TB a wird der Inhalt des Begriffes Massedefekt erläutert. Zur Bestätigung der 2. Prognose erinnert der Lehrer an den künstlichen Aufbau von Atomkernen aus Nukleonen (Kernumwandlungen), bei dem Energie in Form von γ-Strahlung frei wird. Zur Überprüfung der 3. Prognose teilt der Lehrer den Schülern mit, daß man den Zusammenhang zwischen Kernbindungsenergie und Massedefekt experimentell mit Hilfe künstlicher Kernreaktionen bestimmt hat. Dazu wurde auf experimentellem Wege an einigen Kernen die Bindungsenergie je Nukleon bestimmt und mit der dem Massedefekt Δm_0 äquivalenten Energie verglichen. Am Beispiel des Heliumkerns wird die Kernbindungsenergie berechnet. Anschließend lösen die Schüler die Aufgabe 4 (LB) selbständig.

(3) Ist der Massedefekt ein Widerspruch zum Massen-bzw. Energieerhaltungssatz? Ausgehend von dieser Problemstellung arbeiten die Schüler den Abschnitt im Lehrbuch — Philosophische Bemerkungen zum Begriff Massedefekt — durch. Anhand einer vollständigen Massen- bzw. Energiebilanz (TB c) wird die These vom Verschwinden von Masse bei der Bildung von Atomkernen widerlegt.

Massedefekt eines Atomkerns $^4_2$He

experimentell gesichert: Massensumme der Nukleonen von $^4_2$He

$m_{op} = 1{,}00759$ u	$m_{oHe} = Z \cdot m_{op} + N \cdot m_{on}$
$m_{on} = 1{,}00898$ u	$m_{oHe} = 2 \cdot 1{,}0076$ u $+ 2 \cdot 1{,}009$ u
$m_{oHe} = 4{,}00278$ u	$m_{oHe} = 4{,}033$ u

Masse des Heliumkerns $<$ Massensumme der Nukleonen des He

allgemein gilt: $m_{oK} < Z \cdot m_{op} + N \cdot m_{on}$

Massedefekt: $\Delta m_0 = (Z \cdot m_{op} + N \cdot m_{on}) - m_{oK}$

a

Bild 179/1

Berechnung der Kernbindungsenergie des Heliums

geg.: Δm_{0He}	$= 0{,}030$ u	$E_B = \Delta m_{0He} \cdot c^2$
c	$= 3 \cdot 10^8$ m $\cdot$ s^{-1}	$E_B = 0{,}030$ u$(3 \cdot 10^8$ m $\cdot$ s$^{-1})^2$
1 u	$= 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg	$E_B = 0{,}030 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg $\cdot$ $9 \cdot 10^{16}$ m$^2 \cdot$ s^{-2}
1 eV	$= 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ N $\cdot$ m	$E_B = 0{,}448 \cdot 10^{-11}$ N $\cdot$ m $=$ $28{,}0 \cdot 10^6$ eV
		$E_B = 28{,}0$ MeV

28,0 MeV werden bei der Bildung eines Heliumkerns in Form von γ-Strahlen frei.

b

Bild 180/1

Vollständige Massen- und Energiebilanz bei der Bildung von Atomkernen

$Z \cdot m_p + N \cdot m_n = m_{0K}$ + freiwerdende Energie

Massenbilanz $m_0 = m_{0K} + \Delta m_0$ mit $\Delta m_0 = \frac{E_B}{c^2}$

Energiebilanz $E_0 = (E_0 - E_B) + E_B$

Massenabnahme $\triangleq$ freiwerdende Energie

c

Bild 180/2

3. Stunde: Die Kernbindungsenergiekurve

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß immer dann Kernbindungsenergie freigesetzt wird, wenn Atomkerne mit kleiner Kernbindungsenergie je Nukleon in Atomkerne mit großer Kernbindungsenergie je Nukleon überführt werden;
- können die Freisetzung von Kernbindungsenergie durch Kernspaltung schwerer Kerne aus dem Verlauf der Kernbindungsenergiekurve begründen.

Unterrichtsmittel

FO: Kernbindungsenergiekurve

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Die Kernbindungsenergiekurve (E) **15 min**	Erläutern des Begriffes „Kernbindungsenergie" (SSA) Berechnen der Kernbindungsenergie je **Nukleon** von He, Li, Ne, Ca, Fe, U (HA aus der 2. Std., SSA) Darstellen der Kernbindungsenergie je Nukleon in Abhängigkeit von der Massenzahl (FO, SSA) Analysieren des Verlaufs der Kernbindungsenergiekurve und Formulieren wesentlicher Aussagen (UG)
Aus dem Verlauf der Kernbindungsenergiekurve ist zu erkennen, daß die Kernbindungsenergie je Nukleon bei den leichten ($A < 40$) und bei den schweren Kernen ($A > 100$) geringer ist als bei den mittelschweren Kernen.	
(2) Möglichkeiten der Freisetzung von Kernbindungsenergie (A) **10 min**	Schließen und Begründen der Freisetzung von Kernbindungsenergie durch Kernspaltung und Kernfusion aus dem Verlauf der Kernbindungsenergiekurve (UG)
Um Kernbindungsenergie freizusetzen, sind solche Kernreaktionen auszulösen, die leichte oder schwere Kerne in mittelschwere überführen, da diese Atomkerne die größten Beträge an Kernbindungsenergie je Nukleon besitzen.	
(3) Energiebilanz einer Kernspaltungsreaktion (A) **20 min**	Aufstellen einer Ruhmassenbilanz vor und nach der Kernspaltung (UG) Berechnen der freigesetzten Kernbindungsenergie und Bestätigen der Aussagen der Kernbindungsenergiekurve (TB, SSA) Vergleichen der bei der Spaltung von 1 kg Uran und bei der Verbrennung von 1 kg Steinkohle freigesetzten Energie (UG) Stellen der HA (LB S. 155 Aufgabe 6 und Vorbereitung eines SV: Physikalische und technische Bedingungen für die Realisierung einer gesteuerten Kernspaltung)
Da die schweren Atomkerne geringere Kernbindungsenergie je Nukleon aufweisen als die mittelschweren, wird bei der Spaltung schwerer in mittelschwere Kerne Energie frei. **Bei der Spaltung eines $^{235}_{92}$U-Kerns wird im Mittel eine Energie von 200 MeV frei.** **Bei der vollständigen Spaltung von 1 kg $^{235}_{92}$U wird rund $2{,}5 \cdot 10^6$ mal soviel Energie frei wie bei der Verbrennung der gleichen Masse Steinkohle.**	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die Zielstellung der Stunde wird vom Lehrer wie folgt formuliert: „Warum wird sowohl bei der Spaltung schwerer Kerne als auch bei der Fusion leichter Kerne Energie frei?" Zur Klärung des Problems wird die Kernbindungsenergie je Nukleon von $^{4}_{2}$He, $^{7}_{3}$Li, $^{20}_{10}$Ne, $^{40}_{20}$Ca, $^{56}_{26}$Fe und $^{235}_{92}$U unter Zuhilfenahme der Ergebnisse aus der vergangenen Stunde und der Hausaufgabe berechnet. Die Ergebnisse werden in einem Diagramm in Abhängigkeit von der Massezahl dargestellt. Der graphische Verlauf, der die Kernbindungsenergiekurve darstellt, ist zu analysieren, und folgende Merkmale sind herauszuarbeiten:

— Die Kernbindungsenergie je Nukleon ist von der Massenzahl abhängig.
— Bei den mittleren Atomkernen ($40 < A < 100$) nimmt die Kernbindungsenergie je Nukleon ihren größten Betrag an.

— Von $A = 57$ aus nimmt der Betrag der Bindungsenergie je Nukleon sowohl nach kleinen als auch nach großen Massenzahlen ab.

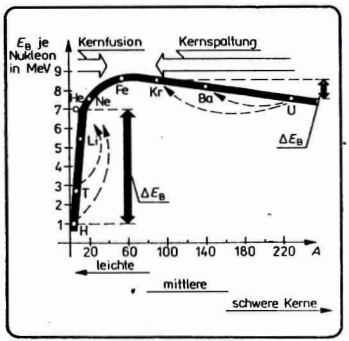
(2) Aus dem Verlauf der Kernbindungsenergiekurve werden mit den Schülern grundsätzliche Möglichkeiten zur Gewinnung von Kernenergie diskutiert. Anhand der Definition der Kernbindungsenergie wird hervorgehoben, daß jede Kernreaktion, die zu einer Vergrößerung der insgesamt vorhandenen Bindungsenergie führt, Energie freisetzt. Daraus ergeben sich prinzipiell folgende Möglichkeiten:

— Zusammensetzung von Atomkernen aus freien Protonen und Neutronen
— Verschmelzung leichter Kerne zu mittelschweren (Kernfusion)
— Spaltung schwerer Kerne in mittelschwere (Kernspaltung).

(3) Die aus dem Verlauf der Kernbindungsenergiekurve gemachten Aussagen werden am Beispiel der Kernspaltung überprüft. Dabei ist von der in der Klasse 10 behandelten Kernspaltungsreaktion auszugehen und die entsprechende Energiebilanz durchzuführen. Dabei werden die Schüler darauf hingewiesen, daß die kinetische Energie der Reaktionspartner bei dieser Energiebilanz vernachlässigt wird (siehe Energietopfmodell). Die Aufteilung der freiwerdenden Energie auf die Spaltprodukte wird anhand des Wissensspeichers Physik (S. 305) bzw. einer dazu angefertigten Folie mit den Schülern ausgewertet. Abschließend wird die freiwerdende Energie bei der Spaltung von 1 kg Uran mit der bei der Verbrennung der gleichen Masse Steinkohle freiwerdenden Energie verglichen.

Folie

Bild 182/1



Tafelbild

Bild 182/2

Energiebilanz bei einer Kernspaltung

vor der Spaltung		nach der Spaltung
Reaktion: $^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{236}_{92}U \rightarrow {}^{143}_{56}Ba + {}^{90}_{36}Kr + 3({}^{1}_{0}n) +$ freiwerdende Energie		
Ruhmassenbilanz	235,0439 u + 1,0089 u	142,9084 u + 89,9043 u + 3,0267 u + freiwerdende Energie
236,0528 u	>	235,8394 u

Berechnung der freiwerdenden Energie

$\Delta m_0 = 236{,}0528\ \text{u} - 235{,}8394\ \text{u}$ $\quad E_B = \Delta m_0 \cdot c^2$

$\Delta m_0 = 0{,}2134\ \text{u}$ $\quad E_B = 0{,}2134 \cdot 931{,}44\ \frac{\text{MeV}}{c^2} \cdot c^2$

$1\ \text{u} = 931{,}44\ \frac{\text{MeV}}{c^2}$ $\quad E_B = 199\ \text{MeV}$

Bei der Spaltung eines Urankernes wird eine Energie von etwa 200 MeV frei!

Bild 183/1

4. Stunde: Die Kernspaltung

Stundenziele

Die Schüler

- können bekannte Erhaltungssätze auf den Fall der Kernspaltung anwenden;
- festigen die Erkenntnis, daß auf Grund der Äquivalenz von Masse und Energie der Satz von der Erhaltung der Energie mit dem Satz von der Erhaltung der Masse zu einem einzigen Gesetz zu verbinden ist;
- vertiefen die Einsicht, daß Materie unerschaffbar und unzerstörbar ist;
- erhalten einen Überblick über die physikalischen und technischen Bedingungen für die Realisierung einer gesteuerten Kernspaltung;
- erfahren die prinzipielle Arbeitsweise eines Kernreaktors.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Erläutern bekannter Erhaltungssätze für Energie, Masse, Impuls und Ladung am Beispiel der Kernspaltung (A) **20 min**	HA (K) Erläutern der Kernbindungsenergiekurve (SV) Aufstellen einer vollständigen Energie- und Massenbilanz unter Einbeziehung der Masse-Energie-Äquivalenz (LB, UG) Erläutern der Erhaltungssätze für Ladung und Impuls (LB, UG) Werten der Erhaltungssätze im kernphysikalischen Bereich hinsichtlich ihres philosophischen Inhalts (UG)
Die Erhaltungssätze bestätigen, daß bei Kernreaktionen keine Ladung, Masse oder Energie verloren geht. Bei einer vollständigen Massen- bzw. Energiebilanz ist die Energie-Masse-Äquivalenz zu berücksichtigen.	
(2) Physikalische und technische Bedingungen für die Realisierung einer gesteuerten Kernspaltung (E) **15 min**	Analysieren der physikalischen Bedingungen für die Realisierung einer gesteuerten Kernspaltung (TB, SV) Erläutern der technischen Bedingungen für eine gesteuerte Kernspaltung (TB, SV)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Physikalische Bedingungen für die Realisierung einer gesteuerten Kernspaltung sind eine ausreichende Masse an spaltbarem Material und eine kontinuierliche Bereitstellung von Neutronen, die eine Kernspaltung auslösen können. Die Reaktortemperatur, die Neutronenabsorption der Spaltprodukte, die Wirkung der „verzögerten" Neutronen und der Einsatz von Regelstäben beeinflussen die Steuerung der Kettenreaktion.	
(3) Kernkraftwerke der DDR (A) **10 min**	Erläutern der in der DDR arbeitenden Kernreaktoren (LV)
In Rheinsberg und Lubmin arbeiten Druckwasserreaktoren zur Gewinnung von Elektroenergie. Der Kernreaktor in Rossendorf dient Forschungszwecken.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Zur Motivation der Stunde wird von folgender Problemstellung aus der 1. Stunde ausgegangen: „Welche Belege liefert die Kernphysik für die These von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie?" Im LV bzw. SV (je nach Klassensituation) wird den Schülern mitgeteilt, daß die Erhaltungssätze eine wesentliche physikalische Grundlage für die philosophische Aussage von der Erhaltung der Materie sind. Am Beispiel der Kernspaltung werden die bekannten Erhaltungssätze erläutert. Dabei sind die Darstellungen im LB auf den Seiten 142 bis 144 zu nutzen. Es ist hervorzuheben, daß im kernphysikalischen Bereich die Erkenntnisse der Relativitätstheorie zu berücksichtigen sind, und alle Betrachtungen in einem abgeschlossenen System durchgeführt werden. Da die Masse-Energie-Äquivalenz den Satz von der Erhaltung der Masse mit dem Energieerhaltungssatz verbindet, gibt es zwei Wege, um die Gültigkeit dieser Sätze im kernphysikalischen Bereich nachzuweisen. Entweder rechnet man alle Massen in Energie um und stellt eine vollständige Energiebilanz auf oder man geht umgekehrt vor, und stellt eine vollständige Massenbilanz auf. Im letztgenannten Fall setzt sich die Gesamtmasse des Systems aus der Ruhmasse und den der kinetischen Energie der Spaltprodukte und der γ-Strahlung äquivalenten Massen zusammen.

(2) Nach Absprache mit dem Fachlehrer werden im SV die physikalischen und technischen Bedingungen für die Realisierung einer gesteuerten Kernspaltung vorgetragen. Als Literaturquellen stehen **das Lehrbuch**, der Wissensspeicher Physik und „Das Bild der modernen Physik" von Lindner zur Verfügung. Während des Schülervortrages wird das Tafelbild schrittweise entwickelt. Entsprechende LBA (Bild 138/1 bis 141/1) sind zu nutzen.

Tafelbild

Der Kernreaktor	
Physikalische Bedingungen	technische Realisierung
· Bereitstellung einer ausreichenden Masse an spaltbarem Material (kritische Masse)	· $^{235}_{92}U$, $^{239}_{94}Pu$, $^{238}_{92}U$ Gewinnung durch Isotopentrennung bzw. schnelle Brüter

Der Kernreaktor	
Physikalische Bedingungen	technische Realisierung
· Steuerung der bei der Spaltung freiwerdenden Neutronen	· Moderatoren (Graphit, Wasser) · Steuerstäbe (Bor, Cadmium) (Neutronenabsorber) · Neutronenreflektoren
· Kühlmittel, Wärmeabfuhr	· durch Flüssigkeiten (H_2O, Na)
· Absorption radioaktiver Strahlen	· durch Strahlenschutzschichten (Stahlbeton, Blei)

5. Stunde: Die Kernfusion

Stundenziele

Die Schüler

- können die Freisetzung von Kernbindungsenergie durch Fusion leichter Kerne berechnen und aus dem Verlauf der Kernbindungsenergiekurve begründen;
- kennen sowohl wesentliche Bedingungen für die Realisierung einer kontrollierbaren Kernfusion als auch die noch von der Wissenschaft zu lösenden Probleme;
- können Vorteile der Kernfusion gegenüber der Kernspaltung nennen.

Unterrichtsmittel

PSV 9, V 1.2.5.
FO: Kernbindungsenergiekurve

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Theoretische Möglichkeiten der Realisierung einer Kernfusion (E) **15 min**	Begründen der Freisetzung von Kernbindungsenergie durch Kernfusion (FO, UG) Berechnen der freigesetzten Kernbindungsenergie bei der Kernfusion (TBa, SSA) Analysieren der Möglichkeiten einer Kernfusion (UG)
Bei der Fusion leichter Kerne zu mittelschweren wird Kernbindungsenergie frei, da leichte Kerne eine geringere Kernbindungsenergie haben als mittelschwere. Die praktische Energiefreisetzung infolge einer Kernfusion ist über eine thermonukleare Reaktion möglich.	
(2) Bedingungen für eine gesteuerte Kernfusion (S) **15 min**	Abschätzen der notwendigen Temperatur (TBb, LV) Begründen einer geeigneten Teilchenanzahldichte bei einer kontrollierbaren Kernfusion (LV) Erläutern des magnetischen Einschlusses und der Aufheizung des Plasmas (DE, PSV 9, V 1.2.5.)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Wesentliche Bedingungen für eine kontrollierbare Kernfusion sind: – extrem hohe Temperaturen, schnelle Aufheizung des Plasmas, – geeignete Teilchenanzahldichte, – Beherrschung des magnetischen Einschlusses.	
(3) Ausblick auf die noch zu lösenden Probleme einer kontrollierbaren Kernfusion (Fst) **15 min**	Erläutern der noch zu lösenden Probleme einer kontrollierbaren Kernfusion (LV) Herausarbeiten der Vorteile einer Kernfusionsanlage gegenüber denen eines Kernreaktors (LV) Stellen der HA (LB S. 155, Aufgabe 7, und Vorbereitung des SV: Die wissenschaftlichen Leistungen und die gesellschaftspolitische Haltung Kurtschatows und Hahns)
Ungelöst sind bisher die schnelle Aufheizung des Plasmas und der magnetische Einschluß des Plasmas bei entsprechenden Parametern für eine effektiv arbeitende Fusionsanlage. Vorteile einer Fusionsanlage sind: Kernbrennstoff (Deuterium) steht nahezu unerschöpflich zur Verfügung, die Verbrennungsprodukte sind nicht radioaktiv, es tritt keine Kettenreaktion auf (keine Explosionsgefahr!).	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Aus fachwissenschaftlichen Gründen sollte die Erläuterung der Bedingungen für eine kontrollierbare thermonukleare Fusion im LV erfolgen. Dabei sind die Ausführungen im LB auf den Seiten 139 bis 141 zu nutzen. Hervorzuheben sind die Schwerpunkte nach TB b.

Besonders zur Klärung der ersten zwei Schwerpunkte sind einige Bemerkungen notwendig. Die extrem hohe Plasmatemperatur von $5 \cdot 10^8$ K darf aufgrund des Vergleichs mit üblichen Temperaturen von Neutralgasen zu keinen falschen Schlußfolgerungen führen. So ist die sehr geringe Plasmadichte die Ursache dafür, daß die thermische Energie des Plasmas trotz der hohen Temperatur relativ klein ist. Es gilt also, den Zusammenhang zwischen Teilchenanzahldichte, Temperatur und innerer Energie eines Gases zu erläutern. Hervorzuheben ist, daß die Teilchenanzahldichte eines Fusionsplasmas erheblich unter der eines Gases bei normalem Luftdruck liegen muß. Würde man von einem Deuteriumgas unter Normalbedingungen ausgehen und dies auf einige Millionen Grad erwärmen, so ergäbe sich bei der Fusion von 1 kmol Deuterium eine Leistungsabgabe von 17000 MW, und das Plasma würde dabei unter einem Druck von über 100 Millionen Pascal stehen. Diese Verhältnisse lassen sich nicht steuern und kontrollieren. Für die Realisierung eines sich selbst erhaltenden thermonuklearen Fusionsmechanismus müssen die Teilchenanzahldichten so gewählt werden, daß sowohl die freiwerdende Energie unter Kontrolle gehalten werden kann als auch eine effektive Energieausbeute möglich ist.

Die magnetische Halterung des Plasmas sowie dessen Aufheizung gelingt aber vorläufig nur in Anlagen, bei denen die Teilchenanzahldichte noch weit unterhalb des für die Energiegewinnung nötigen Wertes liegt. Deshalb wird in Berichten über erzielte Fortschritte häufig die Notwendigkeit betont, die Teilchenanzahldichte entscheidend zu vergrößern.

Die magnetische Halterung des Fusionsplasmas wird im UG anhand eines Demonstrationsexperimentes erläutert. So kann die Einschnürung des Plasmas (Pinch-

Effekt) bereits an zwei parallelen Leitern experimentell erläutert werden, die in gleicher Richtung von elektrischen Strömen durchflossen werden. Man stellt fest, daß diese Leiter einander anziehen.

(3) Abschließend informiert der Lehrer die Schüler darüber, daß die Probleme einer sich selbst unterhaltenden und kontrollierbaren Kernfusion erst teilweise gelöst sind. Besonders problematisch sind die als Plasmainstabilitäten zu bezeichnenden Erscheinungen und die schnelle Aufheizung des Plasmas. Man benötigt Temperaturen, die mindestens 50mal so hoch sind wie die an der Grenze des heute technisch Möglichen. Die Teilchenanzahldichte muß sogar noch um einen Faktor 10^3 heraufgesetzt werden. Erfolgversprechend scheint der Einsatz von supraleitenden Magneten für den Einschluß des Plasmas. Mit dem in der SU entwickelten System TOKAMAK wurden bisher positive Teilergebnisse erzielt. Damit besteht die Hoffnung, daß es möglich sein wird, die Probleme der Kernfusion zu lösen. Da die Einzelheiten nicht vorhersehbar sind, muß der Lehrer auf aktuelle Veröffentlichungen achten. Wesentliche Vorteile einer Kernfusionsanlage sind im LV zu nennen. Im Zusammenhang mit der gesteuerten Kernfusion werden Fragen der Schüler zur ungesteuerten Kernfusion anhand der H-Bombe und Neutronenbombe beantwortet.

Tafelbild

Energiebilanz bei einer Kernfusion

(kinetische Energie der Fusionspartner bleibt unberücksichtigt)

vor der Fusion		nach der Fusion
$^3_1T + {}^2_1D \rightarrow$		$^4_2He + {}^1_0n$
3,0163 u + 2,0135 u	>	4,00278 u + 1,00898 u
5,030 u	>	5,012 u

$\Delta m_0 = 5{,}030\ \text{u} - 5{,}012\ \text{u}$ $\qquad E_B = \Delta m_0 \cdot c^2$

$\Delta m_0 = 0{,}018\ \text{u}$ $\qquad E_B = \dfrac{0{,}018 \cdot 931{,}44\ \text{MeV}}{c^2} \cdot c^2$

$1\ \text{u} = 931{,}44\ \dfrac{\text{MeV}}{c^2}$ $\qquad \underline{\underline{E_B = 16{,}8\ \text{MeV}}}$

a

Bild 187/1

Bedingungen für eine kontrollierbare Kernfusion

(thermonukleare Reaktion)

1. Extrem hohe Temperaturen

$E_{kin} \geq E_{pot}$

$2 \cdot \frac{3}{2} \cdot k \cdot T \geq \dfrac{e^2 \cdot Z_1 \cdot Z_2}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot R_0}$ (Abschätzung der notwendigen Temp.) $R_0 \approx 5 \cdot 10^{-15}$ m

$\underline{\underline{T \approx 5 \cdot 10^8\ \text{K}}}$ Z_1, Z_2 Kernladungszahlen der Fusionspartner

(Aufheizung des Plasmas durch magnetisches Pumpen, Laserimpulse, große Ströme)

2. Realisierung einer geeigneten Teilchenanzahldichte
3. Magnetischer Einschluß des Plasmas
4. Ableitung der freiwerdenden Energie
5. Ungelöste Probleme: Plasmainstabilitäten, schnelle Aufheizung des Plasmas u. a.

b

Bild 187/2

6. Stunde: Würdigung der gesellschaftlichen Haltung von Wissenschaftlern der Kernphysik — Auseinandersetzung mit philosophischen Verallgemeinerungen kernphysikalischer Erkenntnisse

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß alle physikalischen Erscheinungen im kernphysikalischen Bereich die materialistische Grundeinsicht von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie bestätigen;
- können die dialektische Einheit von Masse und Energie im kernphysikalischen Bereich erläutern;
- können physikalische von philosophischen Begriffen abgrenzen;
- vertiefen die Einsicht, daß jeder einzelne für die Sicherung des Friedens eine große Verantwortung trägt und einen persönlichen Beitrag zu leisten hat.

Unterrichtsmittel

TR — 92

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Würdigung der Forscherpersönlichkeiten O. Hahn und J. W. Kurtschatow (E) **15 min**	Würdigen und Werten der fortschrittlichen Haltung der Wissenschaftler Hahn und Kurtschatow (LB, SV) Erläutern notwendiger gesellschaftlicher Verhältnisse für die Verhinderung des Mißbrauchs der Kernenergie (TB, SV)
(2) Auseinandersetzung mit philosophischen Verallgemeinerungen kernphysikalischer Erkenntnisse (A) **15 min**	Abgrenzen physikalischer von philosophischen Begriffen (UG) Erläutern der dialektischen Einheit von Masse und Energie im kernphysikalischen Bereich (UG)
Alle physikalischen Erscheinungen im kernphysikalischen Bereich bestätigen die materialistische Grundeinsicht von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie.	
(3) Wiederholung und Festigung **15 min**	Erläutern des Begriffes Bindungsenergie (SSA) Begründen für das Freiwerden von Bindungsenergie (SSA) Formulieren von Ansätzen zur Berechnung von Bindungsenergie (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Im SV werden die wissenschaftlichen Leistungen und die gesellschaftspolitische Haltung Kurtschatows und Hahns gewürdigt. Im Vortrag ist besonders der entschlossene Kampf dieser Wissenschaftler für die Verhinderung des Mißbrauchs der Kernenergie hervorzuheben. Dabei kann die Reihe TR — 92 eingesetzt werden. Die Schüler ergänzen ihre Aufzeichnungen durch das Tafelbild. Zur Vorbereitung auf den SV dient das LB und „Bahnbrecher des Atomzeitalters" von Herneck, Buchverlag Der Morgen.

(2) Ausgehend von den philosophischen Betrachtungen in der 2. und 4. Stunde setzen sich die Schüler mit folgenden idealistischen Interpretationen physikalischer Erscheinungen auseinander:

- Beim Prozeß der Kernbildung geht Masse verloren; es wandelt sich Materie in Strahlung um;
- bei Kernreaktionen wandelt sich Masse in Energie um;
- beim Prozeß der Kernbildung verschwindet Materie, es findet der Prozeß der Entmaterialisation statt.

Bei der Auseinandersetzung mit diesen Aussagen muß hervorgehoben werden, daß Voraussetzung für eine exakte Interpretation und Erklärung physikalischer Erscheinungen stets die eindeutige, dem modernen Begriffsinhalt entsprechende Definition ist. Es ist klar herauszustellen, daß die Begriffe Stoff, Feld, Masse, Energie, Strahlung, Massedefekt, Antimaterie physikalische Begriffe sind. Dagegen ist der Materiebegriff von der Philosophie geprägt worden. Dieser Begriff umfaßt mehr als die Beschreibung der physikalischen Strukturform Stoff. In den genannten Aussagen erfolgt eine Einengung des Materiebegriffes. Aus dem Staatsbürgerkundeunterricht ist den Schülern bekannt, daß eine einzelne Naturwissenschaft die Materie nicht in der Gesamtheit, Totalität sowie Mannigfaltigkeit der Erscheinungen untersuchen kann. Beispielsweise werden in der Physik Lebensvorgänge nicht näher betrachtet. Der unklare Gebrauch der Begriffe Materie, Stoff, Feld, Masse und Energie hat in der Physik oft zu Mißverständnissen Anlaß gegeben und Nährböden für idealistische Schlußfolgerungen geschaffen. Ursachen dafür rühren nicht nur daher, daß besonders Vertreter des mechanischen Materialismus die Begriffe „Masse", „Stoff", „Substanz" und „Materie" verabsolutiert und darüberhinaus noch vermengt haben, sondern auch daher, daß Begriffe und Ideen aus der Makrophysik bedenkenlos in den mikrophysikalischen Bereich übertragen wurden. So hat man in der klassischen Physik den Stoff durch die Masse und die Strahlung durch die Energie charakterisiert. Dieser Unterschied wurde mit der Relativitätstheorie aufgehoben. Stoff und Strahlung, Teilchen und Feld können nicht als zwei unabhängig voneinander existierende Materiearten angesehen werden. Sie besitzen beide Energie und Masse und wechselwirken miteinander. Es ist deshalb physikalisch unexakt, von der „Umwandlung von Masse in Energie" zu sprechen. Es gibt weder Masse ohne Energie noch Energie ohne Masse. Die Erfahrung zeigt, daß stets beide Eigenschaften gleichzeitig an den entsprechenden physikalischen Objekten beobachtet werden. Sie unterstreichen die materialistische Grundeinsicht von der Unzerstörbarkeit und Unerschaffbarkeit der Materie.

(3) Da bereits in den einzelnen Stunden dieses Stoffgebietes eine Festigung wesentlicher Wissens- und Könnensziele durch Übung und Wiederholung vorgenommen wurde, sind in diesem Stundenabschnitt die Schwerpunkte dieses Stoffgebietes zu akzentuieren. Die Schüler müssen in der Lage sein, folgende Tätigkeiten sicher

auszuführen: Erläutern des Begriffes Kernbindungsenergie, Begründen des Freiwerdens von Kernbindungsenergie bei der Kernspaltung und Kernfusion anhand der Kernbindungsenergiekurve, Erläutern der Erhaltungssätze im kernphysikalischen Bereich sowie Formulieren von Ansätzen für die Berechnung der freiwerdenden Kernbindungsenergie bei der Kernspaltung und Kernfusion.

Tafelbild

Verantwortung des Wissenschaftlers

- Verhinderung des Mißbrauchs wissenschaftlicher Erkenntnisse
- Förderung des gesellschaftlichen Fortschritts
- Verbreitung eines wissenschaftlichen Weltbildes
- Vergrößerung des Nationaleinkommens
- Verteidigung der sozialistischen Errungenschaften gegen imperialistische Aggression

Bild 190/1

Stoffgebiet Praktikum

8 Stunden

Vorbemerkungen

Die effektive Durchführung des physikalischen Praktikums in der Abiturstufe unterstützt die Herausbildung allseitig entwickelter sozialistischer Persönlichkeiten.
Die Schüler der zwölften Klasse haben in den Praktika der neunten bis elften Klasse bereits ein grundlegendes Wissen und Können über die Planung, die Durchführung und die Auswertung von Experimenten erworben. Der hohe Anteil an zunehmend selbständiger geistiger und geistig-praktischer Tätigkeit im Praktikum gewährleistet eine weitere Festigung des experimentellen Wissens und Könnens und bietet Möglichkeiten zur Anwendung des bisher Gelernten. Gleichzeitig wird die unmittelbare Vorbereitung der Reifeprüfung unterstützt. Die Praktika der 11. und 12. Klasse sind als Einheit anzusehen. Demzufolge ist die Zielstellung für das Praktikum der Klasse 11, wie sie in „Unterrichtshilfen Physik Klasse 11" (022162) ausgewiesen ist, auch für die Klasse 12 voll gültig.
In der Klasse 12 stehen dabei im Mittelpunkt:

- die weitere Erhöhung der Selbständigkeit der Schüler bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Experimente,
- die intensivere Nutzung von Lehrbüchern, Nachschlagewerken und Fachliteratur,
- die weitere Befähigung der Schüler zur Einschätzung von Fehlern und deren Ursachen bei Messungen,
- die Herausbildung von Charaktereigenschaften wie Ausdauer, Zielstrebigkeit, Exaktheit, Hilfsbereitschaft, gegenseitige Rücksichtnahme, Verantwortungsbewußtsein und Gewohnheit zur Kontrolle und Wertung der gefundenen Ergebnisse.

Durch die experimentelle Tätigkeit im Praktikum werden die Schüler immer stärker an Arbeitsmethoden herangeführt, die später in den Laboratorien der weiterführenden Bildungseinrichtungen von besonderer Bedeutung sind.

Erläuterungen zu den Gruppen- und Einzelexperimenten

So wie in der Klasse 11 werden auch in der Klasse 12 Gruppen- und Einzelexperimente von den Schülern durchgeführt. Hier werden ebenfalls die Gruppenexperimente in der Regel durch Schülergruppen von 2 bis 3 Schülern ausgeführt. Dabei wird die zyklische Arbeitsweise angewandt, das heißt, im Verlauf des Praktikums erfolgt ein Wechsel der durchzuführenden Experimente bei den Schülergruppen.
Die Einzelexperimente werden in individueller Arbeitsweise von jedem Schüler allein unter prüfungsähnlichen Bedingungen ausgeführt.
Im Praktikum werden differenzierte Anleitungen genutzt. Dabei werden die Experimente zu Schwerpunkten zusammengefaßt. Jeder Schwerpunkt enthält in der Regel Experimente aus einem Stoffgebiet, und es werden bestimmte Fähigkeiten in besonderem Maße beim Schüler entwickelt. Die Anleitungen zu den Experimenten der verschiedenen Schwerpunkte haben unterschiedliche Ausführlichkeit (Anleitungen mit großer Ausführlichkeit und Anleitungen mit verminderter Ausführlichkeit). Die Anleitungen zu den Experimenten des ersten Schwerpunktes (Bestimmung physikalischer Größen bei weitgehend selbständiger Erarbeitung der theoretischen Grundlagen) sind sehr ausführlich. Dem Schüler werden zu jedem Teilschritt ausführliche Hinweise vorgegeben.
Zu den Experimenten des zweiten Schwerpunktes (Messung charakteristischer Größen elektrischer Bauelemente) muß der Schüler die Zusammenstellung der Geräte und Hilfsmittel, die Experimentieranordnung oder das Meßprotokoll selbständig erarbeiten. Zur Unterstützung der Vorbereitung sind einige Literaturangaben vorhanden.
Für die Experimente des dritten Schwerpunktes (Experimente mit Wiederholungs- und Erweiterungscharakter aus der Optik unter Verwendung von Anleitungen mit verminderter Ausführlichkeit) sind die Angaben in den Anleitungen weiter reduziert. Literatur muß der Schüler selbständig suchen, und es sind in der Regel nur Angaben zur Vorbereitung des Experiments, zum Ablauf und zur Auswertung vorgegeben.
Bei der Ausführung der Gruppenexperimente wird die kollektive Zusammenarbeit gefördert. Charaktereigenschaften wie Hilfsbereitschaft, gegenseitige Rücksichtnahme und Achtung, Verantwortungsbewußtsein und Ehrlichkeit werden in besonderem Maße entwickelt.
Die Fähigkeit zur kollektiven Arbeit ist bei den Schülern nicht automatisch vorhanden. Gesichert werden muß als Voraussetzung für die kollektive Tätigkeit die individuelle Vorbereitung der Experimente durch jeden Schüler. Um eine hohe Effektivität der kollektiven Tätigkeit zu sichern, muß der Lehrer darauf orientieren, daß alle Schüler die wesentlichen Tätigkeiten mindestens einmal ausgeführt haben, die bei der Durchführung und Auswertung des Experiments auftreten können, also die Vorbereitung und Anfertigung des Meßprotokolls, den Aufbau der Experimentieranordnung, die Ausführung der Messung und die Auswertung. Gegebenenfalls sollte er bereits bei der Planung festlegen, welche Arbeiten bei den Experimenten durch die einzelnen Schüler auszuführen sind.
Gegenseitige Hilfe der Schüler einer Schülergruppe ist erwünscht. Besonders bei der

Auswertung des Experiments und der Untersuchung von Fehlerquellen ist die Diskussion der Schüler einer Gruppe von Bedeutung, weil das Verständnis und das Interesse am Experiment gefördert wird. Keinesfalls darf zugelassen werden, daß sich die Schüler nur auf bestimmte Tätigkeiten spezialisieren und andere nicht ausführen.
Zu den Einzelexperimenten werden den Schülern nur sehr kurze Anleitungen (Anleitungen mit minimaler Ausführlichkeit) vorgegeben. Der Schüler muß die Aufgabe völlig selbständig lösen, Hilfen sind nur dann zu geben, wenn die Lösung der Aufgabe in Frage gestellt ist.
Durch die Einzelexperimente wird dem Lehrer die Möglichkeit gegeben, das experimentelle Wissen und Können der einzelnen Schüler zu analysieren und objektiver zu beurteilen.
Die Inhalte der Einzelexperimente sind den Schülern bereits im wesentlichen durch die verbindlichen Schülerexperimente bekannt. Die Schüler sollen auch wissen, daß die Einzelexperimente in Inhalt und Form den Experimenten ähneln, die in der schriftlichen und mündlichen Reifeprüfung auszuführen sind.
Die größere Anzahl der zur Auswahl stehenden Einzelexperimente in der Klasse 12 erfordert vom Schüler eine intensivere Vorbereitung als in der Klasse 11. Es soll den Schülern dabei deutlich werden, daß zwar nur ein Einzelexperiment ausgeführt werden muß, daß aber eine gründliche Vorbereitung aller Einzelexperimente unbedingt notwendig ist.
Die Schüler haben bei der Ausführung der Einzelexperimente zwei Probleme zu bewältigen: Sie müssen allein arbeiten, und sie erhalten nur eine kurze Anleitung. Dabei können sie auf Erfahrungen der Klasse 11 zurückgreifen.
Die Durchführung der Einzelexperimente erfordert einen hohen gerätetechnischen Aufwand, da eine große Anzahl von Experimenten gleichzeitig abläuft. Der hohe Ausstattungsgrad der Erweiterten Oberschulen mit SEG-Sätzen ermöglicht aber die Realisierung der Lehrplanforderungen.

Stoffverteilungsplan

Im Lehrplan sind 8 Stunden für das Praktikum in Klasse 12 vorgesehen. Jeder Schüler soll mindestens drei Gruppenexperimente, d. h. aus jedem der 3 Schwerpunkte ein Experiment, und mindestens ein Einzelexperiment ausführen.
Für ein Experiment sind in der Regel 2 Unterrichtsstunden zu planen. Die Auswertung des Experiments wird dabei in der Stunde vorgenommen und das Protokoll sofort abgegeben. Während die Schüler für die Durchführung der im Heft „Schülerexperimente Physik Klassen 11/12" (021164) enthaltenen Einzelexperimente in jedem Fall 2 Stunden benötigen, können Gruppenexperimente auch in einer Stunde ausgeführt werden, wenn die Vorbereitung und die Auswertung dieser Experimente als Hausaufgabe zu erledigen sind.
Wird eine der 8 Stunden voll zur Einführung in das Praktikum genutzt, ist es notwendig, eines der Experimente in nur einer Unterrichtsstunde ausführen zu lassen. Das erworbene experimentelle Können der Schüler gewährleistet auch den Erfolg bei einer Arbeitszeit von einer Stunde. Da in diesem Falle jeder Schüler die Auswertung des Experiments als Hausaufgabe zu erledigen hat, ist damit auch keine Benachteiligung gegenüber den Schülern gegeben, die dasselbe Experiment in zwei Stunden ausgeführt haben.

Es besteht aber auch die Möglichkeit, daß die Einführung zum Praktikum in einem Teil der vorangehenden Stunden gegeben wird. In diesem Falle werden für alle Experimente jeweils 2 Stunden geplant.
Es hat sich als günstig erwiesen, das Praktikum frühestens Anfang Dezember zu beginnen und spätestens mit Beginn der Winterferien im Februar abzuschließen. Für diese Zeit sollte je Woche eine Doppelstunde für das Praktikum geplant werden. In der dritten Wochenstunde wird der laufende Stoff weiter behandelt.
Es besteht auch die Möglichkeit, 14-tägig eine Doppelstunde Physik im Wechsel mit der „wissenschaftlich-praktischen Arbeit" zu planen. Für die Durchführung von verbindlichen Schülerexperimenten ist eine solche Planung im Laufe des Schuljahres vorteilhaft.
Eine gesonderte Stunde zur Auswertung des Praktikums kann in der Regel auf Grund des geringen Zeitfonds nicht geplant werden, die Auswertung könnte Bestandteil einer der folgenden Stunden sein. Außerdem werden Hinweise zu den einzelnen Experimenten in jeder Praktikumsstunde gegeben.
Wird eine Einführungsstunde geplant, ergibt sich folgender Stoffverteilungsplan:

Thema der Stunde	Vorleistungen	Unterrichtsmittel
1. **Vorbereitung des Praktikums** und Wiederholung der Fehlerbetrachtungen (W)	SE und PE der Klassen 6 bis 11, Fehlerbetrachtungen (Ph 11)	„Schülerexperimente Physik Klassen 11/12", Literatur für die Schüler, Organisationsplan
2./3. **Durchführung und Auswertung von Gruppen- und Einzelexperimenten** (SE)	Vorbereitung des Protokolls zum Experiment	Geräte für die Experimente, Literatur für die Schüler
4./5. wie 2./3.	wie 2./3.	wie 2./3.
6./7. wie 2./3.	wie 2./3.	wie 2./3.
8. **Durchführung eines Gruppenexperiments**	wie 2./3.	wie 2./3.

Werden alle 8 Stunden zur Durchführung von Experimenten genutzt, so sollten in der ersten Doppelstunde nur Gruppenexperimente ausgeführt werden. In diesem Falle würden die im Organisationsplan angeführten Experimente der 8. Stunde in der ersten Doppelstunde durchgeführt.
Gelegentlich ist es nicht möglich, Doppelstunden für das Praktikum zu planen. In diesem Falle wird folgendes Vorgehen empfohlen:

1. Stunde: Vorbereitung des Praktikums
2. bis 7. Stunde: Ausführung von Gruppen- und Einzelexperimenten
8. Stunde: Auswertung des Praktikums

Es sei noch einmal betont, daß es für die Ausführung der Einzelexperimente günstiger ist, eine individuelle Regelung zur Schaffung einer Doppelstunde zu treffen, als zwei Einzelstunden für diese Experimente zu nutzen.
Werden dennoch Einzelstunden genutzt, können in zwei Stunden zwei Teilexperimente desselben Experiments bzw. verschiedener Experimente ausgeführt werden. Für die Schüler können dabei aber zeitliche Schwierigkeiten auftreten.
Da 6 Stunden für die Durchführung der Experimente zur Verfügung stehen, können für das erste Gruppenexperiment zwei Stunden geplant werden, in zwei Stunden

werden weitere zwei Gruppenexperimente und in den restlichen zwei Stunden Teilexperimente der Einzelexperimente ausgeführt.
Weitere Möglichkeiten der Organisation des physikalischen Praktikums, die die Bedingungen in den einzelnen Schulen berücksichtigen, werden durch Liebers in „Physik in der Schule" Berlin 12 (1974) 2, S. 59 bis 75 beschrieben. Sie können mit Einschränkungen auch in der Abiturstufe genutzt werden.

Organisationsplan

Der Organisationsplan — ohne Angabe der EE — ist den Schülern etwa zwei Wochen vor Beginn der Ausführung der Experimente bekanntzugeben. Das Praktikumheft „Physik, Schülerexperimente Klassen 11 und 12" befindet sich dann bereits in den Händen der Schüler. Es ist somit gesichert, daß die Schüler sich langfristig auf die Experimente vorbereiten können.
Durch den Organisationsplan erfahren die Schüler, welche Gruppenexperimente an den einzelnen Tagen ausgeführt werden. Das Einzelexperiment wird den Schülern erst zu Beginn der entsprechenden Praktikumsstunde genannt, also nicht schon bei Bekanntgabe des Organisationsplanes. In der Klasse 12 sollen alle 8 Einzelexperimente genutzt werden.
In einer Unterrichtsstunde können sowohl Einzelexperimente wie auch Gruppenexperimente durchgeführt werden, d. h., ein Teil der Schüler beschäftigt sich mit Gruppenexperimenten, der andere Teil mit Einzelexperimenten.
In Klassen mit geringer Schülerzahl (unter 20 Schülern) kann das Einzelexperiment auch von allen Schülern gleichzeitig in Form einer experimentellen Klassenarbeit realisiert werden. In diesem Falle hat der Lehrer die Möglichkeit, sich voll auf den Aufbau und die Durchführung der Einzelexperimente zu konzentrieren.
Der Organisationsplan kann folgende Form haben, wenn Gruppen- und Einzelexperimente parallel zueinander ablaufen:

Schüler	2./3. Stunde	4./5. Std.	6./7. Std.	8. Std.
1 2	I/1	III/1	EE 1 EE 2	II/1
3 4	I/2	III/2	EE 3 EE 4	II/2
5 6	I/3	III/3	EE 5 EE 6	II/3
7 8	II/1	I/1	EE 7 EE 8	III/1
9 10	II/2	EE 1 EE 2	I/1	III/2
11 12	II/3	EE 3 EE 4	I/2	III/3
13 14	III/1	EE 5 EE 6	II/1	I/1
15 16	III/2	EE 7 EE 8	II/2	I/2

Schüler	2./3. Stunde	4./5. Std.	6./7. Std.	8. Std.
17 18	EE 1 EE 2	II/1	III/1	I/3
19 20	EE 3 EE 4	II/2	III/2	I/4
21 22	EE 5 EE 6	I/2	III/3	II/4
23 24	EE 7 EE 8	I/3	II/3	III/4

Im Plan können Kontrollgespräche des Lehrers mit einzelnen Schülergruppen ausgewiesen werden.
Werden Fachhelfer für die Betreuung von Experimenten eingesetzt, so wird angegeben, welche Experimente von den einzelnen Fachhelfern betreut werden.
Im vorliegenden Organisationsplan ist vorgesehen, auch Experimente aus der Optik zu planen. Da in der Regel dafür eine Verdunklung notwendig ist, können sich einige Probleme ergeben.
Man kann für die Experimente zur Optik einen abgedunkelten Raum nutzen, der dem Praktikumsraum benachbart ist, das kann z. B. der Physik-Vorbereitungsraum sein. Es besteht zwar auch die Möglichkeit, gesonderte Dunkelkabinen für diese Experimente mit einfachen Mitteln (Lattengerüst und schwarzer Stoff) aufzubauen oder die Optikexperimente in gesonderten Stunden ausführen zu lassen und den Praktikumsraum dazu zeitweise abzudunkeln, jedoch ist der Vorbereitungsaufwand dann wesentlich größer als im erstgenannten Fall. Der Lehrer kann entsprechend der schulischen Situation eine dieser Möglichkeiten wählen.
Bei der Durchführung des Praktikums kann der Lehrer Schüler als Fachhelfer einsetzen. Er hat die Möglichkeit, besonders befähigte Schüler zu fördern und das Praktikum erziehungswirksamer zu gestalten.
Es besteht einmal die Möglichkeit, die Fachhelfer zur Bereitstellung der Geräte in Vorbereitung des Praktikums bzw. zu Beginn der Stunden einzusetzen, sie zur Ausführung kleinerer Reparaturen heranzuziehen oder zur Kontrolle der Vollständigkeit der Geräte und zum Abräumen nach dem Experimentieren. Zum anderen können die Fachhelfer direkt während des Praktikums eingesetzt werden. Bewährt hat sich, einen Schüler für die Betreuung der Experimente eines Schwerpunktes, also von maximal 4 Experimenten, verantwortlich zu machen. Der Lehrer muß die Schüler dazu gesondert vorbereiten. Hinweise zum Einsatz von Fachhelfern im Praktikum sind in „Unterrichtshilfen Physik Klasse 11" (022162) enthalten.
Der Lehrer muß sichern, daß diese Schüler

- die zu betreuenden Experimente selbst aufgebaut und durchgeführt haben,
- in der Lage sind, Fehler beim Aufbau des Experiments zu erkennen und zu beseitigen,
- die Richtigkeit der ermittelten Meßwerte überprüfen und einschätzen können,
- den anderen Schülern Hilfe geben können, ohne ihnen aber die Arbeit und das Denken abzunehmen.

Der Lehrer muß auch beim Einsatz von Fachhelfern die elektrischen Schaltungen selbst abnehmen, die Schülerleistungen bewerten, für Ordnung und Disziplin sorgen und darauf achten, daß alle Schüler der einzelnen Gruppen nahezu den gleichen Anteil bei der Ausführung und Auswertung des Experiments leisten. Die Fachhelfer

sollen ihn dabei unterstützen und Teilaufgaben selbständig ausführen. So kann der Fachhelfer beispielsweise einschätzen, ob der Schüler die Experimentieranordnung selbständig richtig, mit geringer Hilfe oder mit großer Hilfe aufbaute. Bei den Messungen kann er angeben, ob sie vollständig richtig sind, ob systematische, zufällige oder Umrechnungsfehler auftraten oder sogar alle Messungen falsch waren. Diese Angaben werden durch den Lehrer bei der Bewertung berücksichtigt.

Zur Bewertung im physikalischen Praktikum

Der Lehrplan verlangt, daß während der Durchführung der Experimente Kontrollen des Wissens und Könnens vorgenommen werden. In den „Unterrichtshilfen Physik Klasse 11" sind Möglichkeiten der Kontrolle angegeben, wie zum Beispiel

— Führung eines Gesprächs mit den Schülern am Experimentierplatz,
— Bewertung der Protokolle,
— schriftliche Leistungskontrollen nach Abschluß des Praktikums.

Ergänzend hierzu sei eine Möglichkeit erläutert, wie der Lehrer ohne großen zusätzlichen Aufwand sowohl das Wissen als auch das experimentelle Können der Schüler verhältnismäßig exakt einschätzen kann. Diese Form hat sich bei der Bewertung der Einzelexperimente, aber auch der Gruppenexperimente als günstig erwiesen.

Durch den Lehrer wird dazu für die einzelnen Experimente eine Punktbewertung erarbeitet, bei der die Anzahl der zu vergebenden Punkte für die einzelnen Teilschritte gering ist.

Es kann beispielsweise durch direkte Beobachtung bewertet werden:

1. der Aufbau des Experiments,
2. die Richtigkeit der Messungen.

Von einzelnen Schülergruppen bzw. einzelnen Schülern kann erfaßt werden:

3. die Leistung, die in einem Gespräch erfaßt wird,
4. die schriftliche oder mündliche Beantwortung von vorgegebenen Kontrollfragen während des Experimentierens.

Auf indirektem Wege werden die Leistungen durch Kontrolle des Protokolls ermittelt:

5. Beantwortung der Fragen zu den Vorbetrachtungen,
6. Zusammenstellung der im Experiment benötigten Geräte und Hilfsmittel,
7. Vollständigkeit der auszuführenden Messungen,
8. Erläuterungen zum Aufbau und Ablauf des Experiments,
9. Auswertung und Lösung der Aufgabe,
10. Fehlerbetrachtungen.

Der Lehrer wählt jeweils aus dieser Zusammenstellung aus, welche Möglichkeiten der Leistungsermittlung er nutzen will. Bei der Zensierung der Einzelexperimente entfallen zum Beispiel die Punkte 3., 4., 5. Außerdem legt er fest, wieviele Punkte für die einzelnen Teilleistungen (in der Regel 1 bis 3) erteilt werden.

Der Aufbau des Experiments wird vom Lehrer oder vom Fachhelfer kontrolliert, hier kann in der Regel sofort eine Bewertung erfolgen (1.).

Die Richtigkeit des Messens prüft der Lehrer, indem er sich eine Messung vorführen läßt (2.). Da bei jedem Experiment Messungen auszuführen sind, kann hier das tatsächliche experimentelle Können überprüft werden. Es besteht für den Lehrer die Möglichkeit, eine solche Bewertung zunächst nur bei einzelnen Schülern zu

nutzen. Bei konsequenter Anwendung dieser Bewertungsform wird er es aber immer besser verstehen, die Anzahl der so bewerteten Schüler zu erhöhen. Das theoretische Wissen läßt sich gut durch die Kontrolle des Protokolls erfassen (5. bis 10.).
Die Zensur für die Durchführung des Experiments ergibt sich aus der erreichten Punktzahl durch Anwendung des Punktbewertungsmaßstabes, wie er zentral empfohlen wird.

1. Stunde: Vorbereitung des Praktikums

Die Einführungsstunde hat in der Klasse 12 den Charakter einer Wiederholungsstunde, da bereits in der Klasse 11 die Ziele und die Organisation des Praktikums ausführlich besprochen worden sind.

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen die Bedeutung des Praktikums für ihre spätere berufliche Arbeit und für die erfolgreiche Absolvierung der Reifeprüfung;
- wiederholen ihr Wissen über die Anfertigung der Protokolle, unter besonderer Berücksichtigung der Fehlerbetrachtung;
- reaktivieren ihre Kenntnisse über den Arbeits- und Brandschutz im physikalischen Praktikum;
- werden mit einigen speziellen Geräten vertraut gemacht.

Unterrichtsmittel

Organisationsplan für das Praktikum,
Klassensatz „Schülerexperimente Physik Klassen 11/12",
Tafeln und Folien zur Fehlerbetrachtung,
einige Experimentiergeräte.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Zielstellung des Praktikums 5 min	Erläuterung der Rolle des Experiments für die wissenschaftliche Arbeit im Studium bzw. im Berufsleben (LV, UG)
(2) Organisatorischer Ablauf des Praktikums, Arbeits- und Brandschutz, Formen der Kontrolle und Bewertung im Praktikum 20 min	Bekanntmachen mit dem Organisationsplan, Erläuterung der Gruppen- und Einzelexperimente (LV) Belehren der Schüler über die wichtigsten Bestimmungen des Arbeits- und Brandschutzes (LV, UG, WiPh S. 334) Formen der Zensierung im Praktikum (LV) Erläutern eines Beispiels zur Fehlerbetrachtung (UG)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Erläuterungen zu einzelnen Experimenten **20 min**	Erläutern von Geräten und Begriffen, die bei einigen Experimenten benötigt werden (LV, D)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Bei der Erläuterung der Zielstellung ist besonderer Wert auf die Einzelexperimente zu legen. Es sollte die Forderung gestellt werden, die theoretischen Grundlagen und den Ablauf eines jeden Einzelexperiments in Vorbereitung des Praktikums gründlich zu durchdenken, damit die Ausführung dieses Experiments im Unterricht gesichert wird. Es ist darauf hinzuweisen, daß in der schriftlichen und mündlichen Reifeprüfung Experimente gefordert werden, die sich an die Einzelexperimente anlehnen.

(2) Es wird den Schülern mitgeteilt, daß die Protokolle der Gruppenexperimente als Hausaufgabe vorbereitet werden, die Auswertung aber in der Regel im Unterricht erfolgt.
Beim Einzelexperiment wird das gesamte Protokoll im Unterricht angefertigt und sofort abgegeben. Den Schülern ist der Hinweis zu geben, daß für die Gruppenexperimente zusätzlich Fachliteratur genutzt werden sollte, die vom Fachlehrer ausgegeben wird.
Alle Protokolle sollen eine annähernd gleiche Form haben, auch wenn die Anleitungen verminderte oder geringe Ausführlichkeit haben. Unter Ausnutzung des Protokolls soll das Experiment reproduzierbar sein.
Unter Verwendung der Ausführungen im Heft „Schülerexperimente Physik Klassen 11/12" werden die wichtigsten Begriffe der Fehlerbetrachtungen wiederholt.
Die Schüler werden aufgefordert, im Rahmen der Fehlerbetrachtungen kritische Hinweise zum Aufbau und zur Durchführung des Experiments zu geben.
Den Schülern wird mitgeteilt, welche Leistungen im physikalischen Praktikum bewertet werden. Das können sein:

- die Planung, die Durchführung und die Auswertung der Einzelexperimente,
- der Aufbau der Experimentieranordnung und die Messungen,
- das Protokoll,
- die Leistungen der Schüler bei Kontrollgesprächen,
- Kontrollarbeiten zum Experiment.

(3) In den Anleitungen zu den Experimenten treten Begriffe auf und werden Geräte genannt, die den Schülern meist noch unbekannt sind. Hierzu sollte der Lehrer einige Hinweise geben.
Folgende Begriffe müssen geklärt werden: Torsion, Besselsche Methode zur Bestimmung der Brennweite einer Linse. Folgende Geräte sollen gezeigt und kurz erläutert werden: Torsionsschwinger, Widerstandsmesser, Röhrenvoltmeter, Schulspektralapparat.

Schwerpunkt I

Mit den Experimenten dieses Schwerpunktes sollen folgende Ziele im Wissen und Können der Schüler erreicht werden:
Die Schüler sollen unter Verwendung der vorliegenden ausführlichen Anleitungen und eventuell mit zusätzlicher Literatur selbständig die theoretischen Grundlagen des Experiments erarbeiten. In der Regel ist den Schülern die Experimentieranordnung nicht aus der eigenen Tätigkeit bekannt, und auch der Ablauf der Experimente wird nicht direkt im Unterricht behandelt. Dadurch sind an die Schüler in der Vorbereitungsphase hohe Anforderungen gestellt, und auch die Auswertung erfordert vom Schüler große Sorgfalt, Exaktheit und die ständige Kontrolle der erreichten Ergebnisse.
Bei der Ausführung der Experimente sollen die Schüler Sicherheit im Aufnehmen, Protokollieren und Auswerten von Meßergebnissen erreichen, sie sollen physikalische Größen auf verschiedenen Wegen bestimmen und diese miteinander vergleichen. Die Fähigkeit, Fehler und ihre Ursachen zu erkennen, wird weiterentwickelt.
Besonders hohe Anforderungen an die Meßgenauigkeit und das experimentelle Können werden beim Experiment I/4 gestellt. Hohe Anforderungen an das mathematische Können stellen die Experimente I/1 und I/3.
Zur eigenen Vorbereitung sollte der Lehrer als zusätzliche Literatur die „Physikalischen Schulversuche" des Verlages Volk und Wissen Berlin (Bände 1 bis 11) nutzen, das gilt auch für die Experimente der anderen Schwerpunkte. Als Zusatzliteratur für die Schüler ist populärwissenschaftliche Literatur und teilweise Literatur, die für das Studium in Hoch- und Fachschulen genutzt wird, einsetzbar. Der Lehrer muß dabei die Auswahl so treffen, daß das individuelle Wissen und Können der Schüler berücksichtigt wird.

I/1 Bestimmung von Trägheitsmomenten mit dem Reifenapparat

Mit diesem Experiment lernen die Schüler eine Methode zur Bestimmung von Trägheitsmomenten bestimmter Körper kennen. Der Reifenapparat ist den Schülern aus dem Unterricht als Demonstrationsgerät bekannt. Aufbau und Durchführung des Experiments bereiten daher den Schülern keine besonderen Schwierigkeiten.

Zu den Vorbetrachtungen

In der Vorbetrachtung sollen die Schüler die Formel zur Berechnung des Trägheitsmomentes selbständig herleiten. Dabei wird von einer Energiebetrachtung ausgegangen.
Beim Herabsinken des Körpers mit der Masse m um die Höhe h verringert sich seine potentielle Energie um ΔE_{pot}, sie wird in Rotationsenergie ΔE_{rot} des rotierenden Reifens und in kinetische Energie ΔE_{kin} des absinkenden Körpers umgewandelt. Es gilt also

$$\Delta E_{\text{pot}} = \Delta E_{\text{kin}} + \Delta E_{\text{rot}} .$$

Damit ergibt sich

$$m \cdot g \cdot h = \frac{m}{2} \cdot v^2 + \frac{J}{2} \cdot \omega^2,$$

und nach J umgeformt

$$J = \frac{m \cdot (2g \cdot h - v^2)}{\omega^2}$$

Setzt man für $v = \frac{2h}{t}$ und für $\omega = \frac{v}{r_T}$,

so gilt

$$J = \frac{m \cdot \left(2g \cdot h - \frac{4h^2}{t^2}\right)}{\frac{v^2}{r_T^2}}$$

$$J = m \cdot r_T^2 \cdot \left(\frac{2g \cdot h - \frac{4h^2}{t^2}}{\frac{4h^2}{t^2}}\right)$$

$$J = m \cdot r_T^2 \cdot \left(\frac{g \cdot t^2}{2h} - 1\right)$$

Zu den Geräten

Das Experiment kann sowohl mit der älteren Ausführung des Reifenapparates als auch mit dem verbesserten Gerät mit Rotationszylinder durchgeführt werden. Die angegebenen Meßwerte beziehen sich auf die ältere Ausführung.

Zum Ablauf des Experiments

Beim Ablauf des Experiments können folgende Schwierigkeiten auftreten:

- **Die Schüler erkennen häufig nicht, wo sich die Antriebstrommel mit dem Radius r_T befindet.**
- **Bei der Berechnung der Trägheitsmomente des Drehstabs wird häufig statt der Masse m' am Drehstab die Masse m des herabsinkenden Körpers eingesetzt. Ein Hinweis in der Vorbereitungsstunde erscheint hierzu angebracht.**
- **Bei Verwendung des Reifens wird das mittlere Trägheitsmoment gebildet. Bei Verwendung der Drehstange treten aber unterschiedliche Trägheitsmomente auf, von denen kein sinnvoller Mittelwert gebildet werden kann. Das erkennen die Schüler manchmal nicht, deshalb ist auch hier ein entsprechender Hinweis in der Vorbereitungsstunde notwendig.**

Es wurden zum Beispiel folgende Meßwerte ermittelt:

Reifen	
$m = 50$ g	$m = 100$ g
$t = 38{,}1$ s	$t = 26{,}1$ s
$h = 55$ cm	$r_T = 1$ cm

Drehstab	
$m' = 250$ g	$m' = 500$ g
$\bar{t} = 18{,}6$ s	$\bar{t} = 24{,}3$ s
$r = 20$ cm	$r = 20$ cm

Für die Trägheitsmomente ergibt sich dann:

$J = 0{,}065\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$ $J = 0{,}061\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$ Mittelwert $\bar{J} = 0{,}063\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$	$J = 0{,}015\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$ $J = 0{,}026\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$ berechnet: $J = 0{,}01\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$ $J = 0{,}02\ \text{kg} \cdot \text{m}^2$

Bei Benutzung des Drehstabes können zwischen den experimentell ermittelten und den berechneten Trägheitsmomenten häufig recht große Unterschiede auftreten. Die größten Fehler entstehen dadurch, daß die Massen als Punktmassen aufgefaßt werden und die Masse des Drehstabes bzw. des Ansatzrohres vernachlässigt werden. Außerdem tritt bei der Trommel und an der festen Rolle Reibung auf, die nicht berücksichtigt wird. Durch den Lehrmittelhandel wird ein neuer Reifenapparat angeboten, der statt der großen Reifen des alten Apparates einen Rotationszylinder besitzt. Bei Verwendung des neuen Gerätes sind die Reibungsverluste geringer (vgl. auch Hinweise zu den verbindlichen Schülerexperimenten M1 und M2 im Stoffgebiet Mechanik).

I/2 Bestimmung von Trägheitsmomenten mit einem Torsionsschwinger

Die Schüler sollen mit diesem Experiment eine weitere Möglichkeit kennenlernen, Trägheitsmomente zu bestimmen. Im Unterricht wurden nur Trägheitsmomente regelmäßig geformter Körper ermittelt, die sich mathematisch leicht berechnen lassen. Im vorliegenden Experiment wird eine Möglichkeit aufgezeigt, Trägheitsmomente beliebig geformter Körper zu ermitteln. Da den Schülern Torsionsschwinger nicht bekannt sind, sollte der Begriff der Torsion in Vorbereitung des Praktikums kurz erläutert werden.
Die Durchführung und Auswertung des Experiments bereiten keine besonderen Schwierigkeiten, wenn die Vorbetrachtungen gründlich durchgearbeitet wurden.

Zu den Vorbetrachtungen

Durch die Vorüberlegungen muß der Schüler erkennen, daß sich das Gesamtträgheitsmoment des untersuchten Körpers mit Zusatzmassen zwar erhöht, daß aber durch die Anwendung der in der Vorbetrachtung abgeleiteten Formel

$$J = m \cdot r^2 \cdot \frac{T^2}{T_1^2 - T^2}$$

immer das Trägheitsmoment J des Ausgangskörpers berechnet wird und demzufolge bei allen Trägheitsmomenten annähernd der gleiche Wert ermittelt wird.

Zu den Geräten und Hilfsmitteln

Zum neu entwickelten Reifenapparat gehört ein Torsionsschwinger, der sich für die Durchführung des Experiments sehr gut eignet. Steht dieser Torsionsschwinger nicht zur Verfügung, so wird ein Torsionsschwinger selbst hergestellt. Dazu wird ein nicht zu dünner Stahldraht ($d \approx 1$ mm) benötigt, damit die Schwingungsdauer nicht zu groß wird. Der Draht wird in einer kurzen Drehklemme oder Kreuzmuffe mit zwei Stahlplättchen befestigt.

Zum Ablauf des Experiments

Die Ausführung des Experiments bereitet keine wesentlichen Schwierigkeiten.
In einem Vorversuch muß der Schüler zunächst selbst feststellen, wieviel Schwingungen für die Bestimmung der Schwingungsdauer genutzt werden können.
Zufällige Fehler treten bei der Bestimmung der Schwingungsdauer, der Massen und der Abstände der Zusatzmassen von der Drehachse auf. Sie sind in der Regel bei diesem Experiment größer als die systematischen Fehler, die durch die Meßgeräte hervorgerufen werden.

I/3 Impulsbestimmung

Bei diesem Experiment ist der komplexe Charakter besonders stark ausgeprägt. Der Schüler muß Kenntnisse über den Wurf, Gesetze der gleichmäßig beschleunigten und der gleichförmig geradlinigen Bewegung anwenden. Er muß den Impulserhaltungssatz, den Energieerhaltungssatz und seine Kenntnisse über die Rotationsenergie nutzen. Das Experiment kann als Erweiterung des Experiments zur Ermittlung der Wurfbahn von Körpern aus Klasse 11 angesehen werden.

Zu den Vorbetrachtungen

Der Impulserhaltungssatz für zwei Kugeln, die einen zentralen elastischen Stoß ausführen, lautet:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2.$$

Da die zweite Kugel ruht, vereinfacht sich die Gleichung zu

$$m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2.$$

Für den horizontalen Wurf lauten die Ort-Zeit-Gesetze:

$$x = f(t) = v_0 \cdot t, \qquad y = f(t) = \frac{g}{2} \cdot t^2.$$

Daraus ergibt sich durch Eliminierung von t

$$y = f(x) = \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2 \text{ und für die Abwurfgeschwindigkeit}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{g \cdot x^2}{2y}}$$

Zu den Geräten und Hilfsmitteln

Bei der Auswahl der Kugeln ist es notwendig, gleichgroße Kugeln zu verwenden, da sonst kein zentraler Stoß erfolgt. Geeignete Kugeln werden durch den Lehrmittelhandel angeboten, es können aber auch Kugeln der Kugelschwebe (Zusatzgerät zur Schwungmaschine) genommen werden.
Besonderer Wert muß auf die exakte Einhaltung des Ablaufpunktes gelegt werden. Das Anbringen eines festen Hindernisses auf der Ablaufbahn, bei dem die Kugel den Lauf beginnt, wird empfohlen.

Zum Ablauf des Experiments

Bei der Ausführung der Messung der Höhe h ist darauf zu achten, daß die Schüler immer den Auflagepunkt der Kugel als Bezugspunkt wählen.

Bei einem Experiment ergaben sich folgende Meßwerte:

$h = 8{,}0$ cm $\quad x_1 = 24{,}5$ cm $\quad y = 50{,}0$ cm

$m_1 = 65$ g (Stahlkugel) $\quad x_2 = 41{,}0$ cm

$m_2 = 10$ g (Holzkugel) $\quad x_1, x_2$ — Wurfweiten der beiden Kugeln

Daraus ergeben sich:

$$v_1 = \sqrt{\frac{10}{7} g \cdot h} = 1{,}06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$p_1 = 0{,}069 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Impuls vor dem Stoß)

$u_1 = 0{,}77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Geschwindigkeit der Stahlkugel nach dem Stoß)

$u_2 = 1{,}29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Geschwindigkeit der Holzkugel nach dem Stoß)

$p_2 = 0{,}063 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Impuls nach dem Stoß)

Der Impuls nach dem Stoß ist stets etwas kleiner als der Impuls vor dem Stoß. Die Ursachen sind in Reibungsverlusten der rollenden Kugel und im nicht vollständig elastischen Stoß zu sehen.

I/4 Magnetische Flußdichte

Das Experiment soll das Verständnis der Schüler für die physikalische Größe magnetische Flußdichte B erhöhen. Es ist im Lehrbuch beschrieben. Im Praktikum werden quantitative Messungen ausgeführt. Mit diesem Experiment wird eine typische Methode der Erkenntnisgewinnung der Physik geübt, bei der aus experimentellen Meßergebnissen Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen zu ermitteln sind. Es wird jeweils die Abhängigkeit zweier Größen untersucht, während die anderen Größen konstant bleiben.

Zu den Vorbetrachtungen

Der Schüler muß erkennen, daß Felder entweder mit Hilfe der Kraftwirkungen auf Probekörper, die ins Feld gebracht werden, oder mit Hilfe des felderzeugenden Körpers selbst beschrieben werden können. In diesem Experiment werden beide Möglichkeiten miteinander verknüpft.
Die Schüler sollen wiederholen, daß die Stärke des Magnetfeldes durch Erhöhung der Windungsanzahl, durch Erhöhung der Stromstärke, durch Verringerung der Länge der Spule und durch Nutzung eines Eisenkernes vergrößert werden kann.

Zum Ablauf des Experiments

Der Aufbau und die Durchführung des Experiments erfordern vom Schüler ein hohes experimentelles Können. Die Waage muß gut austariert werden, und die Reibung muß gering gehalten werden. Das an der Holzleiste befestigte Paar von Rundmagneten soll sich möglichst genau in der Mitte der Spule befinden, um eine horizontale Verschiebung zu vermeiden.
Die Kraft wurde als unabhängige Variable gewählt, da es leichter ist, die Stromstärke genau einzustellen, als die Massestücke auf der Waage zu variieren. Ist die Reibung zwischen Waagebalken und Achszapfen zu groß, so ergeben sich ungenaue Werte.

Die Schüler stellen durch Quotienten- oder Produktbildung folgende Proportionalitäten fest:

$F \sim I, F \sim N, F \sim \frac{1}{l}$, und da $F \sim B$ gilt, ergibt sich $B \sim I \cdot \frac{N}{l}$ oder $B = \mu \cdot I \cdot \frac{N}{l}$.

Die Lösung der Aufgabe 5 der Auswertung vermittelt den Schülern eine Vorstellung von der Größenordnung der magnetischen Flußdichte der verwendeten Spule.
Für eine Länge $l = 7$ cm der Spule und $\mu_{rel} = 1$ erhält man $B = 1{,}08 \cdot 10^{-2}\,V \cdot s \cdot m^{-2}$.

Schwerpunkt II

Die Schüler sollen folgendes Wissen und Können erreichen: In der Phase der Vorbereitung des Experiments sollen die Schüler selbständig Literatur nutzen. Dabei soll angestrebt werden, daß neben der in der Anleitung vorgegebenen auch weitere Literatur verwendet wird.
Die selbständige Auswahl der benötigten Geräte und Hilfsmittel führt die Schüler zu einer höheren Selbständigkeit bei der Planung des Experiments. Auch bei der Anfertigung des Meßprotokolls und der notwendigen graphischen Darstellungen der Meßergebnisse wird eine höhere Selbständigkeit erreicht. Die Schüler sollen eine größere Sicherheit im Umgang mit Stromstärke- und Spannungsmeßgeräten und Sicherheit im Bestimmen relativer Fehler einzelner Meßgrößen gewinnen.
Um die schöpferische Arbeit der Schüler zu fördern, sind die Angaben zur Durchführung der Experimente kurz gehalten, und es werden nur unbedingt notwendige Hinweise gegeben. Alle Anleitungen sind so angelegt, daß die Schüler auch vor der Behandlung des entsprechenden Stoffabschnitts die Experimente ausführen können, wenn das Wissen aus vorangegangenen Klassen reaktiviert wird.
Zur Vorbereitung sollen deshalb die Physik-Lehrbücher der Klassen 9 bis 12, der „Wissensspeicher Physik" (021703) und andere Literatur durch die Schüler genutzt werden.
Die Experimente II/1 und II/4 verlangen vom Schüler ein hohes experimentelles Können, bei den Experimenten II/2 und II/3 ist der Aufwand für die Berechnungen größer als bei den anderen Experimenten.
Zur Fehlerbetrachtung werden bei der Beschreibung des Experiments II/3 einige Ausführungen gemacht, die auf die anderen Experimente sinngemäß übertragen werden können.

II/1 Aufnahme von Transistorkennlinien

Durch das Experiment werden die Schüler an den Aufbau relativ komplizierter Schaltungen herangeführt. Die Schüler müssen Meßgeräte benutzen, die Messungen im µA-Bereich zulassen. Um den Aufbau zu erleichtern, sollte das Anleitungsheft zum Schüler-Experimentier-Gerät „Halbleiter-Hochfrequenz" den Schülern zur Verfügung gestellt werden.

Zu den Vorbetrachtungen

In Vorbereitung des Experiments wiederholt der Schüler grundlegendes Wissen über Leitungsvorgänge in Halbleitern. Er wendet seine Kenntnisse zur Auswertung von Diagrammen an. Durch das Experiment wird die Behandlung der Halbleiterbauelemente am Ende der Klasse 12 vorbereitet.

Die Gleichung für den Stromverstärkungsfaktor $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ kann dem Lehrbuch Physik Klasse 12 entnommen werden.

Zu den Geräten

Der Aufbau der Experimentieranordnung wird mit den Geräten vorgenommen, die im SEG-Satz angeboten werden.
An den Transistor GC 115, der im SEG „Halbleiter-Hochfrequenz" enthalten ist, darf eine maximale Gleichspannung von $U_{CE} = 20$ V angelegt werden, wobei $I_{C\,max} < 150$ mA sein muß. Da diese Werte keinesfalls überschritten werden dürfen, sind die Spannungswerte in der Anleitung wesentlich niedriger gewählt. In der Zukunft werden auch Siliziumtransistoren ausgeliefert. Hier liegen die maximalen Werte bei $U_{CE} = 10$ V und $I_C = 50$ mA.
Um die Stromstärken im µA-Bereich messen zu können, werden zum Beispiel die Universalmeßgeräte UNI 7 (SKUS 08504138) benutzt.
Es werden zur Veränderung der Spannung 2 Widerstände (veränderlich) von 1 kΩ empfohlen.

Benötigt werden folgende Geräte und Hilfsmittel:

4 Grundbretter
Transistor GC 115
Widerstand (1 kΩ)
Widerstand (10 kΩ)
2 Potentiometer (jeweils 1 kΩ)
2 Spannungsmesser
2 Strommesser
2 Stromversorgungsgeräte
Verbindungsleiter

Zum Ablauf des Experiments

Da bei Transistoren im Unterschied zu den Elektronenröhren der Ausgangskreis auf den Eingangskreis zurückwirkt, ist es notwendig, bei Veränderung der Werte im Ausgangskreis die Werte des Eingangskreises nachzustellen.
Bei einem Experiment wurden folgende Werte gemessen:

I_B-I_C-Kennlinie

$U_{CE} = 10$ V	
I_B in µA	I_C in mA
0	0
20	1,2
40	2,9
60	4,3
80	5,8
100	7,0
120	7,9
140	8,7
160	9,4
180	9,6
200	9,7

U_{CE}-I_C-Kennlinien

U_{CE} in V	$I_B = 50$ µA	$I_B = 100$ µA	$I_B = 150$ µA
	I_C in mA	I_C in mA	I_C in mA
0,5	0,5	0,5	0,5
1,0	0,9	1,0	1,0
1,5	1,4	1,4	1,4
2,0	1,8	1,9	1,9
3,0	2,2	2,9	2,9
4,0	2,4	3,8	3,8
5,0	2,6	4,6	4,8
6,0	2,8	5,2	5,8
7,0	3,0	5,6	6,8
8,0	3,2	6,0	7,8
9,0	3,4	6,4	8,4
10,0	3,6	6,8	9,0

Für β erhält man etwa

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\,;\ \beta = \frac{(7{,}0 - 1{,}2)\,\text{mA}}{(0{,}1 - 0{,}02)\,\text{mA}}\,;\ \beta = 72{,}5\,.$$

Die Arbeitsweise eines Transistors kann erheblich von Temperaturschwankungen beeinflußt werden. Für den Betrieb von Transistoren werden deshalb bestimmte Temperaturbereiche vorgeschrieben.

II/2 Induktivität einer Spule

Bei diesem Experiment soll die Induktivität einer Spule in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe eines Eisenkernes bestimmt werden. Da den Schülern das Verhalten einer Spule im Gleich- und im Wechselstromkreis bekannt ist, hat das Experiment vertiefenden und erweiternden Charakter.
Die Durchführung bereitet kaum Schwierigkeiten, die mathematische Auswertung ist recht umfangreich.

Zu den Vorbetrachtungen

Die Beziehung $R_g^2 = X_L^2 + R^2$ wird den Schülern vorgegeben, da sie diese Beziehung bisher nicht kennen und diese erst am Ende des Schuljahres behandelt wird.

Mit $R_g = \frac{U}{I}$, $X_L = \omega \cdot L$ und $\omega = 2\pi \cdot f$ ergibt sich

$$\frac{U^2}{I^2} = \omega^2 \cdot L^2 + R^2$$

und daraus für L:

$$L = \sqrt{\frac{U^2 - R^2 \cdot I^2}{I^2 \cdot 4\pi^2 \cdot f^2}}$$

Zu den Geräten und Hilfsmitteln

Die Geräte und Hilfsmittel müssen vom Schüler angegeben werden.

Widerstandsmeßgerät
Spule (500 oder 750 Windungen)
Eisenkern mit Längeneinteilung
Strommesser
Spannungsmesser
Stromversorgungsgerät
Verbindungsleiter

Zum Ablauf des Experiments

In der Regel haben die Schüler noch nicht mit einem Widerstandsmeßgerät gemessen. Daher muß der Schüler entweder die Bedienungsanleitung nutzen, die auf der Rückseite einiger Gerätetypen steht, oder der Lehrer erläutert zu Beginn der Praktikumsstunde die Handhabung des Gerätes.

Beispiel für ein Meßprotokoll:

$N = 500$ Windungen
$R = 2{,}5\ \Omega$

s in cm	U in V	I in A	L in H
0	6,00	1,91	0,0060
1	6,20	1,75	0,0080
2	6,40	1,70	0,0090
3	6,95	1,53	0,0121
4	7,50	1,35	0,0158
5	8,22	1,15	0,0213
6	8,60	1,00	0,0262
7	8,88	0,88	0,0311
8	9,00	0,80	0,0349

Das Diagramm hat dann folgende Form:

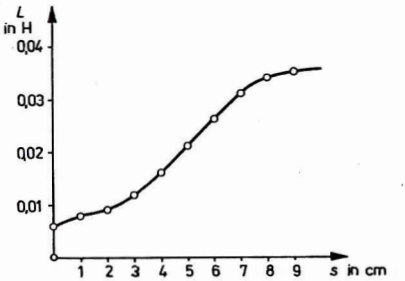


Bild 207/1

Von Körpern mit gleichem Querschnitt und nur wenig unterschiedlichen Längen, die aus ferromagnetischen Stoffen mit konstanter Zusammensetzung bestehen, können Längen folgendermaßen gemessen werden: Der Körper wird in die Spule bis zu einem bestimmten Anschlag eingeschoben. An die Spule wird eine konstante Spannung angelegt. Je nach Länge des Körpers wird die Stromstärke unterschiedlich sein. Wird ein Strommesser entsprechend dem Diagramm für Längeneinheiten geeicht, kann die Länge am Meßgerät abgelesen werden.

II/3 Entladungskurve eines Kondensators

Durch das Experiment werden den Schülern die Vorgänge bei der Entladung eines Kondensators verständlich gemacht. Der Einfluß der Kapazität und des Widerstandes im Stromkreis auf den Entladevorgang soll klar herausgestellt werden. Das Experiment ist den Schülern aus der Klasse 9 bekannt.

Zu den Vorbetrachtungen

Der Schaltplan ist in der Anleitung zum Experiment enthalten. Nach dem Aufladen des Kondensators wird mit dem Hebelumschalter der Stromkreis zur Entladung geschlossen. Je nach Größe des Widerstandes in diesem Stromkreis ist die Zeitdauer der Entladung unterschiedlich. Sie ist größer als eine Minute, wenn der Widerstand größer als 200 kΩ gewählt wird.

Die maximale Stromstärke I_{max} wird mit Hilfe der Gleichung $I_{max} = \frac{U}{R}$ bestimmt.

Die Bestimmung der Ladung schließt an die Kenntnisse der Schüler aus Klasse 11 an. Das Integral

$$Q = \int I dt = \int I_{max} \cdot e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \cdot dt$$

können die Schüler allerdings noch nicht lösen, da solche Integrale im Mathematikunterricht erst am Ende der Klasse 12 behandelt werden. Dennoch ist die Bestimmung der Ladung des Kondensators durch Auszählen der Flächenelemente unter der Kurve möglich. Die Schüler kennen diese Methode der Bestimmung physikalischer Größen bereits aus der Thermodynamik.
Ein Vergleich der so bestimmten Ladung erfolgt mit der durch $Q = C \cdot U$ ermittelten Ladung. U ist dabei die angelegte Spannung und C die Kapazität des Kondensators.

Zu den Geräten und Hilfsmitteln

Stromversorgungsgerät
Spannungsmesser
Strommesser (µA-Bereich)
Kondensator (50 µF)
3 Widerstände (200 kΩ, 500 kΩ, 1 MΩ)
Hebelumschalter
3 Grundbretter
7 Verbindungsleiter
Stoppuhr

Zur Bestimmung der Stromstärke eignen sich das Universalmeßgerät UNI 7 (SKUS 08504138) oder das Demonstrations-Drehspulmeßgerät Typ DSD mit Meßverstärker (SKUS 08508036).

Zum Ablauf des Experiments

Alle Meßwerte werden sofort nach Beginn der Entladung aufgenommen, d. h., nach jeweils 3 bis 5 Sekunden werden die einzelnen Meßwerte abgelesen. Ein ständiges Neuaufladen des Kondensators nach jeder Messung kann dadurch entfallen.

Beispiel eines Meßprotokolls:

$U = 14$ V

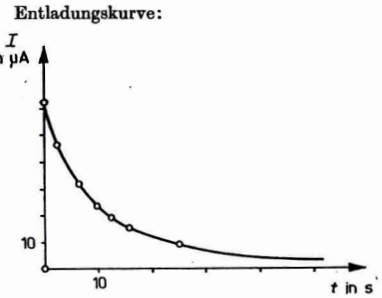
$R = 200$ kΩ, $I_{max} = 70$ µA

(berechnet)

$C = 50$ µF

t in s	I in µA
0	62,5
3	45,0
6	32,5
9	23,8
12	18,8
15	13,8
⋮	⋮
60	2,5

Entladungskurve:



Q (berechnet): $7 \cdot 10^{-4}$ C
Q (ausgezählt): $7{,}3 \cdot 10^{-4}$ C

Die Unterschiede zwischen berechneter und gemessener maximaler Stromstärke kommen dadurch zustande, daß der Kondensator unvollständig geladen wurde bzw. ein Teil der Energie bereits in der Zeit des Zeigerausschlages bis zum Höchstwert in Wärme umgewandelt wird.
Folgende **Fehler** können auftreten:
Systematische Fehler:

- Ungenauigkeit der Meßgeräte, z. B. bei UNI 7: $\frac{\Delta I}{I} = 2{,}5\%$
- Ungenauigkeit der Widerstandswerte (bis zu 5%)
- Es wird keine Übereinstimmung zwischen berechneter und gemessener maximaler Stromstärke erreicht.

Zufällige Fehler:

- Spannungsschwankungen, zum Beispiel zwischen 13,5 V und 14 V, das entspricht einem relativen Fehler von $\frac{\Delta U}{U}$ von 3,6%
- Ablesezeit und tatsächlich vergangene Zeit stimmen nicht völlig überein, bei Abweichungen von 0,5 s und einem Ableserhythmus von 3 s ergibt sich ein relativer Fehler von $\frac{\Delta t}{t} = 17\%$
- Da sich der Zeigerausschlag beim Messen ständig verändert, ist keine genau auf die Zeit abgestimmte Stromstärkemessung möglich.

Es ist ersichtlich, daß bei diesem Experiment die zufälligen Fehler größer sind als die systematischen Fehler.

II/4 Widerstandsmessungen

Durch das Experiment sollen die Schüler verschiedene Varianten der Messung von Widerständen kennenlernen. Dabei geht es darum, die Genauigkeit der einzelnen Meßverfahren einzuschätzen und so Probleme des Messens physikalischer Größen besser zu übersehen.
Die Anforderungen an das experimentelle Können sind sehr hoch, da verschiedene Geräte benutzt werden (Dekadenwiderstand, Galvanometer, Widerstandsmeßgerät), die den Schülern bisher wenig oder nicht bekannt sind.

Zu den Vorbetrachtungen

Die stromrichtige Schaltung wird genutzt, wenn die Widerstände im Stromkreis groß sind, in diesem Falle würde bei spannungsrichtiger Schaltung ein großer Teil des gemessenen Stromes durch den Spannungsmesser fließen. Die spannungsrichtige Schaltung wird bei kleinen Widerständen verwendet, da der Spannungsabfall am Strommesser anderenfalls zu groß sein würde.
Aus dem Elektrotechnikunterricht haben die Schüler hierzu bereits ausreichende Kenntnisse, sie sollten reaktiviert werden.
Die Gleichung $\frac{R_x}{R_v} = \frac{l_2}{l_1}$ erhält man durch folgende Überlegungen:
Da das Galvanometer keinen Stromfluß zeigt, ist
$U_{R_v} = U_{R_1}$ und $U_{R_x} = U_{R_2}$.

Unter Verwendung der Gesetze am verzweigten und unverzweigten Stromkreis und des Ohmschen Gesetzes erhält man

$$U_{R_1} = I_1 \cdot R_1 \qquad U_{R_v} = I_2 \cdot R_v$$

$$U_{R_2} = I_1 \cdot R_2 \qquad U_{R_x} = I_2 \cdot R_x$$

Durch Quotientenbildung ergibt sich

$$\frac{U_{R_1}}{U_{R_2}} = \frac{R_1}{R_2} \qquad \frac{U_{R_v}}{U_{R_x}} = \frac{R_v}{R_x} = \frac{U_{R_1}}{U_{R_2}} = \frac{R_1}{R_2}$$

Setzt man für $R_1 = \varrho \cdot \frac{l_1}{A}$ und $R_2 = \varrho \cdot \frac{l_2}{A}$, so folgt

$$\frac{R_x}{R_v} = \frac{l_2}{l_1}.$$

Zu den Geräten und Hilfsmitteln

Es sollten maximal 2 Widerstände untersucht werden. Als Widerstandsmeßgeräte sind die im Lehrmittelhandel angebotenen Meßbrücken (z.B. SKUS 08505238) oder das Universalmeßgerät UNI 7 (SKUS 08504138) bzw. das Polyzet IV (SKUS 08520189) geeignet.

Zum Ablauf des Experiments

Bei den Messungen ergibt sich, daß bei der spannungsrichtigen Schaltung der Widerstandswert etwas kleiner und bei der stromrichtigen Schaltung etwas größer als der tatsächliche Widerstandswert ist.
Bei der Verwendung der Brückenschaltung muß darauf geachtet werden, daß der als Vergleichswiderstand R_v genutzte Dekadenwiderstand eine ähnliche Größenordnung hat wie der unbekannte Widerstand. Daraus ergibt sich, daß bei unbekanntem Widerstand der Dekadenwiderstand solange ausgewechselt werden muß, bis die Messung sinnvoll wird.
Es ist zweckmäßig, den Schülern den Hinweis zu geben, den Gleitkontakt von links und von rechts her zu dem Punkt G auf dem Draht zu führen (siehe Skizze im Heft „Physik Schülerexperimente Klassen 11 und 12"). Dadurch wird die Genauigkeit der Längenmessung erhöht.
Folgende Meßwerte wurden für einen Widerstand (100 Ω laut Aufdruck) gemessen:

spannungsrichtige Schaltung: $U = 6$ V $\quad I = 58$ mA $\quad$ Damit ist $R = 103{,}1\ \Omega$

stromrichtige Schaltung: $\quad U = 6$ V $\quad I = 56$ mA $\quad$ Damit ist $R = 107{,}1\ \Omega$

Im vorliegenden Fall sind die Messungen mit der Meßbrücke und mit dem Widerstandsmeßgerät am genauesten. Bei der Nutzung einer Meßbrücke aus Aufbauteilen liegen häufig ungenauere Werte vor.
Der relative Fehler von Spannung und Stromstärke ergibt sich durch Ablesen am verwendeten Meßgerät. So beträgt er bei Verwendung des „Polyzet IV" 5%.

Bei Verwendung der Meßbrücke und $R_v = 70\ \Omega$ erhält man:

Nr. der Messung	l_1 in cm	l_2 in cm	R_{x_1} in Ω	$\lvert R_{x_1} - \overline{R}_{x_1} \rvert$ in Ω
1	60,1	39,9	105,4	0,0
2	59,8	40,2	104,1	1,3
3	60,2	39,8	105,9	0,5
4	59,9	40,1	104,6	0,8
5	60,4	39,6	106,8	1,4
			$\overline{R}_x = 105{,}4\,\Omega$	$\Delta\overline{R}_x = 0{,}8\,\Omega$

$$\frac{\Delta\overline{R}_x}{\overline{R}_x} = \frac{0{,}8\ \Omega}{105{,}4\ \Omega} = 0{,}008$$

Der relative Fehler beträgt damit 0,008, d. h., es liegt eine Abweichung von rund 1% vor.
Widerstandsmeßgerät: $R = 105{,}0\ \Omega$
Die Meßgenauigkeit beträgt für die tragbare Meßbrücke 1%.

Schwerpunkt III

Folgendes Wissen und Können sollen die Schüler erwerben: Die Schüler festigen ihre Kenntnisse aus dem Stoffgebiet „Optik" der Klasse 11 und vertiefen durch die Experimente ihr Wissen in diesem Stoffgebiet. Sie wählen weitgehend selbständig die Geräte und Hilfsmittel für das Experiment und planen dessen Aufbau und die Durchführung.
Die Schüler sollen einen hohen Grad der Selbständigkeit bei der Planung und bei der Ausführung der Experimente erreichen. Sie sollen eine größere Sicherheit bei der Feststellung von Fehlerquellen bei den Messungen gewinnen.
Die Experimente III/1 und III/2 sind von der Durchführung und Auswertung her leichter zu bewältigen als die Experimente III/3 und III/4.
Auf die Fehlerbetrachtung wird bei der Beschreibung des Experiments III/2 genauer eingegangen.

III/1 Brennweite einer Linse

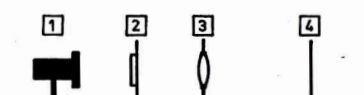
Die Schüler bestimmen bei diesem Experiment die Brennweite einer Linse

- unter Ausnutzung der Linsengleichung,
- mit Hilfe der Besselschen Methode und
- auf graphischem Wege.

Der experimentelle Aufwand ist gering und kann von den Schülern gut bewältigt werden.

Zu den Vorbetrachtungen

Die Skizze zum Aufbau des Experiments muß eine Lampe (1), einen Gegenstand, z. B. L (2), eine Linse (3) und einen Schirm (4) enthalten.



Die Ableitung $x = y = f$ aus der Abbildung im Heft „Physik Schülerexperimente Klassen 11 und 12" bereitet häufig Schwierigkeiten. Es gilt:

$\Delta PQS_i \sim RPS_i'$, da $\sphericalangle PQS_i = \sphericalangle PRS_i' = 90°$
und $\sphericalangle QS_iP = \sphericalangle RPS_i'$ (Stufenwinkel an geschnittenen Parallelen)

Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke folgt:

$$\frac{s_i' - y}{x} = \frac{y}{s_i - x} \qquad (s_i' = \overline{OS_i'};\ s_i = \overline{OS_i})$$

und mit $x = y$ ist $y^2 = (s_i' - y) \cdot (s_i - y)$.

Daraus folgt: $y = \frac{s_i \cdot s_i'}{s_i + s_i'}$ bzw. $\frac{1}{y} = \frac{s_i + s_i'}{s_i \cdot s_i'}$

oder $\frac{1}{y} = \frac{1}{s_i'} + \frac{1}{s_i}$.

Das ist die Linsengleichung, und damit gilt, daß $y = f$ ist. Die Gleichung für die Bestimmung der Brennweite nach Bessel erhält man folgendermaßen:

Aus $\frac{1}{f} = \frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{s + s'}{s \cdot s'}$ folgt mit $z = s + s'$ und $u = s' - s$

$$f = \frac{\frac{z+u}{2} \cdot \frac{z-u}{2}}{\frac{z+u}{2} + \frac{z-u}{2}} = \frac{z^2 - u^2}{4z}.$$

Zu den Geräten und Hilfsmitteln

Stromversorgungsgerät
Lampe
Objekt (z. B. L)
Linse unbekannter Brennweite (z.B. $f = 100$ mm)
Blendrahmen mit Schiebeschacht
Schirm
4 T-Füße
Meßstab
2 Stativstäbe

Zum Ablauf des Experiments

Zur Bestimmung der Brennweite aus Bild- und Gegenstandsweite ist die Gegenstandsweite zu variieren.
Bei Nutzung der Methode von Bessel ist zu beachten, daß der Abstand z zwischen Gegenstand und Bild größer als $4f$ sein muß, da sonst kein reelles Bild entsteht.

Folgende Werte wurden beispielsweise bei der Messung ermittelt:

1. Verwendung von Bild- und Gegenstandsweite:
   $s = 228$ mm, $s' = 186$ mm, daraus folgt $f = 101{,}2$ mm,
   Mittelwert aus 5 Messungen: 100,7 mm.
2. Methode von Bessel:
   $u = 153$ mm, $z = 447$ mm
   Für f ergibt sich dann: $f = 98{,}7$ mm
   Aus 5 Werten bei unverändertem Abstand zwischen Gegenstand und Bild erhält man $f = 100{,}4$ mm.
3. Bei Nutzung des Diagramms kommt es auf eine große Sorgfalt beim Zeichnen an, deshalb ist Millimeterpapier zu benutzen. Ist der Schnittpunkt nicht exakt feststellbar, dann ist ungenau gemessen worden.

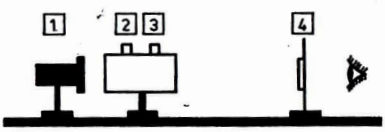
Die größte Genauigkeit bei den hier angeführten Methoden wird im allgemeinen mit der Methode von Bessel erreicht. Die Genauigkeit hängt sehr stark davon ab, ob das Bild scharf genug abgebildet wird und wie die Messung ausgeführt wird.

III/2 Wellenlänge des monochromatischen Lichtes

Im Unterricht der Klasse 11 wird die Lichtwellenlänge in einem verbindlichen Schülerexperiment bestimmt. Die Nutzung eines Doppelkeilspaltes ist den Schülern neu und auf Grund der Entstehung eines virtuellen Bildes, das nicht auf einem Schirm abgebildet wird, sehr ungewohnt. Mit diesem Experiment lernen die Schüler eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung von Lichtwellenlängen kennen.

Zu den Vorbetrachtungen

Es wird die Gleichung $\lambda = \frac{k \cdot s_n}{n \cdot e}$ genutzt. Die mittleren Wellenlängen werden dem „Wissensspeicher Physik" entnommen.
Die Experimentieranordnung enthält
die Lampe (1), ein Farbfilter (2), den Doppelkeilspalt (3) und ein Gitter (4).



Zu den Geräten und Hilfsmitteln

Stromversorgungsgerät
Lampe
Doppelkeilspalt
3 Farbfilter (rot, gelb, blau)
Gitter 2 ($k = 0{,}05$ mm)
Handapparat
Blendrahmen mit Schiebeschacht
3 T-Füße

Meßstab
2 Stativstäbe
unbekanntes Gitter (eventuell Gitter 1)

Zum Ablauf des Experiments

Die Schüler erkennen oftmals nicht, daß kein Schirm benötigt wird. Es ist deshalb der Hinweis günstig, die Vorbetrachtung 1 und die Hinweise zum Ablauf des Experiments genau zu beachten. Bei einem Experiment (Farbe rot) ergaben sich folgende Werte:
Keilabstand $2s = 11$ mm, $k = 0{,}05$ mm, $e = 404$ mm.
Damit erhält man: $\lambda = 680$ nm.
Folgende relative Fehler werden zum Beispiel angegeben:

$$\Delta s = 0{,}5 \text{ mm, d. h. } \frac{\Delta s}{s} = \frac{0{,}5 \text{ mm}}{11 \text{ mm}} = 0{,}046 = 4{,}6\%$$

$\Delta e = 7$ mm (aus der Meßreihe)

$$\frac{\Delta e}{e} = \frac{7 \text{ mm}}{404 \text{ mm}} = 0{,}017 = 1{,}7\%$$

Die Messung des Abstandes der Interferenzstreifen ist hiernach mit dem größten relativen Fehler behaftet. Häufig messen die Schüler den Abstand s der Keilspitzen zu 10 mm, dieser Abstand beträgt aber 11 mm (siehe Anleitungsheft zum SEG „Optik"). In diesem Fall ist der Fehler dieses Abstandes mit

$$\frac{\Delta k}{k} = \frac{1 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} = 0{,}1 = 10\%$$

am größten.
Zufällige Fehler können durch ungenaues Übereinanderstellen der Keilspitzen entstehen, dadurch erhält man fehlerhafte Ergebnisse für e.

III/3 Äußerer lichtelektrischer Effekt

Im Unterricht der Klasse 11 haben die Schüler ein Verfahren zur Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums mit Hilfe der Gegenfeldmethode kennengelernt.
Im vorliegenden Experiment werden die Schüler mit einer weiteren Möglichkeit zur Bestimmung dieser wichtigen Naturkonstante vertraut gemacht, dabei wird ein Kondensator aufgeladen und die Ladespannung gemessen.
Zur theoretischen Durchdringung ist die Wiederholung des Wissens über den äußeren lichtelektrischen Effekt erforderlich.
Die Schüler lernen das Röhrenvoltmeter als modernes Meßgerät mit hochohmigem Eingangswiderstand kennen.

Zu den Geräten und Hilfsmitteln

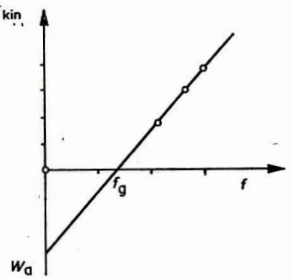
Vakuumfotozelle mit Fassung (z. B. 451 SUMU GKV)
Gehäuse zur Fotozelle (Konservendose mit Öffnung)
Kondensator (0,25 µF)
Schalter

Röhrenvoltmeter (SKUS 08508189)
Lampe (z. B. Reuterlampe mit Trafo)
mehrere Farbfilter bekannter Durchlaßwellenlängen
Stromversorgungsgerät (2 V~)
eventuell Kondensor (oder 2 Konvexlinsen)

Der Kondensor dient der Erzeugung eines schwach konvergenten Lichtbündels, das auf die Fotozelle gelenkt wird.
Das Röhrenvoltmeter wird bereits durch den Lehrer so vorbereitet, daß der Schüler das Gerät nur noch einschalten muß. Dem Schüler wird zur Erläuterung nur mitgeteilt, daß der hochohmige Eingangswiderstand ein sofortiges Entladen des Kondensators über das Meßgerät verhindert, und daß etwa 10 min zur Erwärmung des Gerätes notwendig sind.

Zu den Vorbetrachtnugen

Aus der graphischen Darstellung erhält man
f_g — Schnittpunkt der Geraden mit der f-Achse
W_a — Schnittpunkt der Geraden mit der E_{kin}-Achse
h — Anstieg der Geraden



Zum Ablauf des Experiments

Um einen eventuell vorhandenen Alkalibelag auf der Metalloberfläche der Vakuumfotozelle zu beseitigen, sollte man vor dem Experiment die Anschlüsse der Fotozellenfassung kurzzeitig mit dem Stromversorgungsgerät (2 V~) verbinden.
Die Genauigkeit der Ermittlung des Planckschen Wirkungsquantums hängt in starkem Maße von der Güte der Farbfilter ab. Wenn nur ein schmaler Bereich der Lichtwellenlängen hindurchgelassen wird, sind genaue Meßwerte zu erwarten. Werden die Filter des SEG verwendet, dann sind die erhaltenen Ergebnisse relativ ungenau. Der Lehrer sollte sich deshalb in der Phase der Vorbereitung davon überzeugen, welche Wellenlängen optimale Ergebnisse für das Plancksche Wirkungsquantum ergeben.
Die kleinsten hindurchgelassenen Lichtwellenlängen werden als Grundlage für die Berechnung und Zeichnung genutzt. Es ist bei der Messung besonders darauf zu achten, daß am Röhrenvoltmeter der größte Ausschlag abgelesen wird, da das Meßgerät danach einen kleineren Wert anzeigt, als der durch die Entladung des Kondensators entstehende. Gemessen würde jetzt die an der Photozelle entstehende Spannung, nicht aber die Höchstspannung am Kondensator, die durch die energiereichsten Elektronen hervorgerufen wird.

Meßergebnisse entnehme man den „Physikalischen Schulversuchen", Band 11, S. 119 (Volk u. Wissen 022149).

III/4 Dispersionskurve eines Prismas

Dieses Experiment führt die Schüler an die Nutzung des Schulspektralapparates heran. Es wird zunächst eine Eichkurve aufgenommen. Diese wird zur Bestimmung der Wellenlängenbereiche verwendet, die von verschiedenen Farbfiltern hindurchgelassen werden.

Zu den Vorbetrachtungen

Der Strahlengang am Prisma kann zum Beispiel dem „Wissensspeicher Physik" entnommen werden. Zur Handhabung des Schulspektralapparates sollte der Lehrer in Vorbereitung des Experiments noch einmal die zugehörige Bedienungsanleitung studieren. Die Einstellung des Schulspektralapparates erfordert große Sorgfalt und sollte eventuell vor der Ausführung des Experiments durch den Lehrer erfolgen.

Zu den Geräten und Hilfsmitteln

Schulspektralapparat
3 Lampen
Stromversorgungsgerät bzw. Trafo
Farbfilter (rot, gelb, blau)
Blendrahmen mit Schiebeschacht
T-Fuß

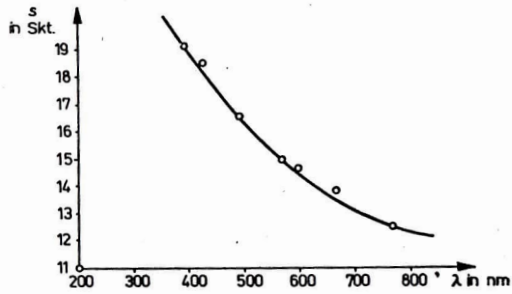
Zum Ablauf des Experiments

Bei Beachtung der in der Anleitung gegebenen Hinweise sind die Schüler im allgemeinen in der Lage, mit dem Spektralapparat die notwendigen Messungen auszuführen.

Meßprotokoll

Farbe	in nm	Skalenteile
äußeres Rot	770	12,9
Rot/Orange	670	14,0
Orange/Gelb	600	14,5
Gelb/Grün	570	14,8
Grün/Blau	490	16,2
Blau/Violett	430	18,3
äußeres Violett	390	19,4

Als Eichkurve ergab sich:



Die Schüler erkennen nach dem Ablesen der Skalenwerte für die durch die Filter hindurchgelassenen Wellenlängen, daß alle Schul-Filter nicht nur eine Wellenlänge, sondern einen breiten Wellenlängenbereich hindurchlassen.

Einzelexperimente

Jedes Einzelexperiment besteht aus 2 Teilaufgaben, die zwar aufeinander abgestimmt sind, aber in der Regel auch unabhängig voneinander gelöst werden können.
Um ein Einzelexperiment vollständig durchzuführen und auszuwerten, werden zwei Unterrichtsstunden benötigt. Wird nur eine Teilaufgabe gelöst, dann sind etwa 50 bis 60 Minuten erforderlich.
Grundlage für die Vorbereitung der Einzelexperimente sind die Anleitungen für die verbindlichen Schülerexperimente der Klassen 11 und 12.

Zusammenstellung der Geräte für die Einzelexperimente

Die Geräte sind so geordnet, daß zunächst die Geräte aus den SEG-Sätzen aufgeführt sind, dann Demonstrationsgeräte und zuletzt Geräte und Hilfsmittel, die der Lehrer aus anderen Beständen bereitstellen muß.

EE 1	EE 2
2 Aufbewahrungsgefäße	3 Bechergläser
Meßzylinder (100 ml)	Meßzylinder (100 ml)
Thermometer (0—100 °C)	Thermometer (0—100 °C)
Kalorimetergefäß aus	Kalorimetergefäß aus
Aluminiumtopf,	Aluminiumtopf,
Becherglas,	Becherglas,
Rührer,	Rührer
Deckel	Probekörper (Krampe aus Cu)

noch EE 1

Stromversorgungsgerät
Heizspirale
2 Verbindungsleiter
Stoppuhr
heißes Wasser
Spiritus

noch EE 2

Kochplatte mit Anschlußschnur
Waage
Wägesatz
heißes Wasser

EE 3

Stromversorgungsgerät
Heftleuchte
Spaltblende
Achsenkreuz mit
Winkelteilung
Flachglaskörper (halbrund)
Flachglaskörper (planparallel)
2 Verbindungsleiter
Lineal
Blatt Papier

EE 4

Stromversorgungsgerät
Experimentierleuchte
2 Verbindungsleiter
Spaltblende
Linse ($f = +100$ mm)
Schirm
Gitter ($k = 0{,}05$ mm)
Gitter (k unbekannt)
2 Stativstäbe
3 T-Füße
Blendrahmen
Lineal
Stechzirkel

EE 5

2 Tischklemmen
3 Stativstäbe (500 mm)
2 Gleitlagerachsen
Stellring
Meßstab
Stoppuhr
Rad der Gleitlagerachse
($r = 15$ mm)
Schiebedoppelmuffe
2 Stativstäbe (250 mm)
3 Rundfüße
Rundtisch ($r = 90$ mm)
Rundtisch ($r = 45$ mm)
Wägesatz (250 g)
Schnur (etwa 1,5 m)

EE 6

Stromversorgungsgerät
Strommesser
Spannungsmesser
Drehwiderstand mit Skale
(50 Ω)
Widerstand (z. B. 100 Ω)
7 Verbindungsleiter
Glühlampe (6 V)

EE 7

Stromversorgungsgerät
Spannungsmesser
Strommesser
Drehwiderstand (50 Ω)
Ge-Flächengleichrichter
(z. B. OY 111)
7 Verbindungsleiter
2 Black-box mit unbekannten

noch EE 6	noch EE 7
Grundbrett	Bauelementen, z.B. Ohmscher Widerstand (100 Ω) Spule (500 Windungen) Glühlampe (6 V, 3 W) Thermistor Grundbrett

EE 8	
Stromversorgungsgerät	Becherglas mit kaltem destilliertem Wasser oder Öl
Spannungsmesser	Thermometer (0—100 °C)
Strommesser	Potentiometer
Thermistor	7 Verbindungsleiter
Halterung für Thermistor	Eisenwiderstand
Becherglas mit heißem destilliertem Wasser oder Öl	Konstantanwiderstand

Hinweise zu den einzelnen Experimenten

EE 1 Wärmekapazität eines Kalorimeters

Theoretische Grundlagen

Bei diesem Experiment ist zu beachten, daß die Wärmekapazität K des Kalorimeters ohne Berücksichtigung der Flüssigkeit bestimmt werden muß.
Es gilt die Gleichung

$$m \cdot c_w(\vartheta_2 - \vartheta_m) = m \cdot c_w(\vartheta_m - \vartheta_1) + K(\vartheta_m - \vartheta_1)$$

Wärme, die vom heißen Wasser abgegeben wird	Wärme, die durch das kalte Wasser aufgenommen wird	Wärme, die vom Kalorimeter aufgenommen wird

Hieraus kann die Wärmekapazität K des Gefäßes bestimmt werden. Sie ist unabhängig von der Art der verwendeten Flüssigkeit.
Die Ausgangsgleichung für die Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität c der Flüssigkeit — es wird Spiritus empfohlen — lautet

$$m_2 \cdot c(\vartheta_2' - \vartheta_1') + K(\vartheta_2' - \vartheta_1') = m_1 \cdot c_w(\vartheta_2 - \vartheta_1) + K(\vartheta_2 - \vartheta_1)$$

Wärme, die der Flüssigkeit zugeführt wird	Wärme, die dem Kalorimeter zugeführt wird	Wärme, die dem Wasser zugeführt wird	Wärme, die dem Kalorimeter mit Wasser zugeführt wird

Durch Umformen der Gleichung nach c erhält man die gesuchte Größe.

Zum Ablauf des Experiments

Bei der Messung der Temperatur des Wassers ist darauf zu achten, daß der Schüler zuerst die Temperatur des heißen Wassers, dann die des kalten Wassers und zuletzt die Mischtemperatur mißt. Wird dagegen zuerst die Temperatur des kalten Wassers gemessen, so kann die Nichtbeachtung der Wärmekapazität des Thermometers zu falschen Wärmekapazitäten des Gefäßes führen. Die Heizwendel muß auch bei der Bestimmung der Wärmekapazität im Gefäß sein.
Beim Experiment ist die Wärmekapazität des Gefäßes bei Verwendung von Wasser bzw. von Spiritus gleich.
Die Schüler müssen darauf achten, daß beim Experiment 1.2. dasselbe Volumen der Flüssigkeit verwendet wird wie bei der Bestimmung der Wärmekapazität.

Zur Auswertung

Die Wärmekapazität eines Becherglases aus dem SEG-Kalorik liegt in der Größenordnung von $K = 63\ \mathrm{J \cdot K^{-1}}$ ($15\ \mathrm{cal \cdot grd^{-1}}$). Die spezifische Wärmekapazität des Spiritus (Äthanol) wird im Tafelwerk mit $0{,}57\ \mathrm{cal \cdot g^{-1} \cdot grd^{-1}} = 24\ \mathrm{J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}}$ angegeben.

EE 2 Spezifische Wärmekapazität von Metallen

Theoretische Grundlagen

Zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität c des Metallkörpers wird folgende Gleichung genutzt:

$$m_2 \cdot c(\vartheta_2 - \vartheta_m) \quad = \quad m_1 \cdot c_w(\vartheta_m - \vartheta_1) \quad + \quad K(\vartheta_m - \vartheta_1)$$

Wärme, die vom Metallkörper abgegeben wird	Wärme, die vom Wasser aufgenommen wird	Wärme, die vom Kalorimeter aufgenommen wird.

Zum Ablauf des Experiments

Damit die Schüler nicht zuviel Zeit zur Erwärmung des Wassers benötigen, wird ihnen heißes Wasser bereitgestellt, das sofort zu Beginn des Experiments auf die eingeschaltete Heizplatte gestellt wird.
Es muß darauf geachtet werden, daß der Metallkörper beim Wärmeaustausch vollständig in die Flüssigkeit eintaucht und die Wärmekapazität des Gefäßes auch für die entsprechende Füllhöhe bestimmt wird.
Beispiel:

$K = 41{,}8\ \mathrm{J \cdot K^{-1}}$ $\qquad$ $\vartheta_m = 25\ ^\circ\mathrm{C}$

$\vartheta_1 = 21{,}5\ ^\circ\mathrm{C}$ $\qquad$ $m_1 = 37{,}5\ \mathrm{g}$

$\vartheta_2 = 100\ ^\circ\mathrm{C}$ $\qquad$ $m_2 = 60\ \mathrm{g}$

daraus ergibt sich für die spezifische Wärmekapazität der verwendeten Kupferkrampe

$c_1 = 0{,}36\ \mathrm{J \cdot g^{-1} \cdot K^{-1}}$ ($= 0{,}087\ \mathrm{cal \cdot g^{-1} \cdot grd^{-1}}$)

EE 3 Brechzahl von Glas und Grenzwinkel der Totalreflexion

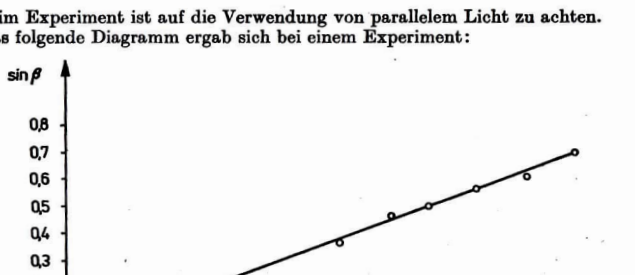
Das Experiment kann bei nur wenig abgedunkeltem Raum durchgeführt werden.

Theoretische Grundlagen

Es gilt das Brechungsgesetz $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_{\text{Vakuum/Glas}}}{n_{\text{Vakuum/Luft}}}$. Es kann erwartet werden, daß die Brechzahl $n_{\text{Vakuum/Glas}}$ aus den Meßwerten mehrfach berechnet und der Mittelwert gebildet wird. Es gilt $n_{\text{Vakuum/Luft}} = 1$.
Der Grenzwinkel der Totalreflexion wird mit Hilfe der Gleichung $\sin\alpha_G = \frac{1}{n_{\text{Vakuum/Glas}}}$ rechnerisch bestimmt. Dabei ist $n_{\text{Vakuum/Glas}}$ im ersten Teilexperiment bestimmt worden.

Zum Ablauf des Experiments

Beim Experiment ist auf die Verwendung von parallelem Licht zu achten.
Das folgende Diagramm ergab sich bei einem Experiment:



EE 4 Lichtwellenlängen und Gitterkonstanten

Bei der Durchführung des Experiments ist es notwendig, den Raum mäßig abzudunkeln.
Bei beiden Teilexperimenten wird die Gleichung

$\frac{n \cdot \lambda}{b} = \frac{s_n}{e}$ benutzt.

Zum Ablauf des Experiments

In der Aufgabenstellung werden mindestens 5 Messungen gefordert. Die Realisierung kann auf zwei Arten erfolgen:

— Die Entfernung zwischen Schirm und Gitter bleibt fest, und es wird jeweils nur durch Veränderung der Stellung der Linse bzw. der Lampe das Spaltbild neu scharf abgebildet und dann gemessen.

— Der Spalt wird scharf auf dem Schirm abgebildet, und es wird der Abstand zwischen Gitter und Schirm verändert.

Zu empfehlen ist die zweite Art, weil durch die Mittelwertbildung der wahrscheinlichste Wert für die Lichtwellenlänge bzw. für die Gitterkonstante bestimmt werden kann.
Bei einem Experiment ergaben sich folgende Ergebnisse:

$s_1 = 6{,}28$ mm

$k = 0{,}05$ mm

$e = 500$ mm

Die Wellenlänge ist damit $\lambda = 628$ nm.

EE 5 Zusammenhang zwischen Drehmoment, Trägheitsmoment und Winkelbeschleunigung

Theoretische Grundlagen

Folgende Beziehungen werden genutzt:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{r}{l \cdot r} = \frac{2s}{r \cdot t^2}$$

$$M_D = F \cdot r$$

$$J = \frac{M_D}{\alpha} = \frac{F \cdot r^2 \cdot t^2}{2s}$$

Zum Ablauf des Experiments

Zur Ausführung des Experiments können unterschiedliche Geräte benutzt werden.

— Nutzung des Experimentieraufbaus, wie er im Schülerexperiment M1 verwendet wird, hierzu sind auch die Geräte in der Zusammenstellung angegeben.
— Nutzung des Schülerreifenapparates (Neuentwicklung des Lehrmittelhandels)
— Nutzung des Demonstrationsreifenapparates in alter und neuer Ausführung

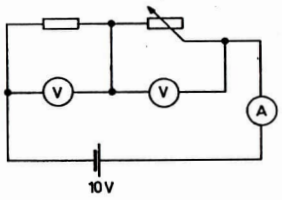
Als Ergebnisse sind zu erwarten:

— die berechneten Werte von α, M_D und J
— Vergleich der Werte der beiden Teilexperimente; wenn $\alpha_1 > \alpha_2$, gilt $M_{D1} > M_{D2}$ und $J_1 = J_2$
— das errechnete Trägheitsmoment wird in der Regel kleiner sein als das experimentell bestimmte, da die Massen der Haltestange, der Aufhängungen und der Antriebsrolle nicht bei der Rechnung berücksichtigt werden.

EE 6 Spannung und Stromstärke bei Reihenschaltung zweier Widerstände

Theoretische Grundlagen

Folgender Schaltplan kann genutzt werden:



Von folgenden Zusammenhängen werden Meßreihen aufgenommen:

$I = f(R_1)$, $U_1 = f(R_1)$, $U_2 = f(R_1)$, wobei U_s = konstant und R_2 = konstant gelten.

Bei der Aufnahme der Kennlinie der Glühlampe wird die Änderung der Spannung entweder durch eine Potentiometerschaltung erreicht — sie ist den Schülern aus der Klasse 8 bekannt — oder es werden die verschiedenen Spannungen direkt am Schülerstromversorgungsgerät entnommen.

Zum Ablauf des Experiments

Am veränderlichen Widerstand ist im allgemeinen eine Skaleneinteilung angebracht, so daß R_1 abgelesen werden kann. Ist diese Skale nicht vorhanden, dann ist eine solche anzufertigen.
Ergebnisse des Experiments:

- Die Stromstärke ändert sich im unverzweigten Stromkreis, wenn der Gesamtwiderstand durch Änderung eines Teilwiderstandes nicht konstant ist.
- Wenn in einem unverzweigten Stromkreis ein Widerstand geändert wird, dann ändern sich die Teilspannungen an allen Teilwiderständen.

EE 7 Stromstärke-Spannung-Kennlinien von Bauelementen

Für beide Teile des Experiments wird eine Potentiometerschaltung benutzt, um die Spannung zu verändern.

Zum Ablauf des Experiments

Die Aufnahme des Kennlinienteils für die Durchlaßrichtung der Diode bereitet den Schülern in der Regel wenig Schwierigkeiten. Häufig wird von den Schülern die Umpolung an der Spannungsquelle vorgenommen, dann müssen aber auch die Meßgeräte umgepolt werden. Günstiger ist es, nur die Diode zu drehen, dadurch kann der restliche Aufbau der Schaltung unverändert bleiben.

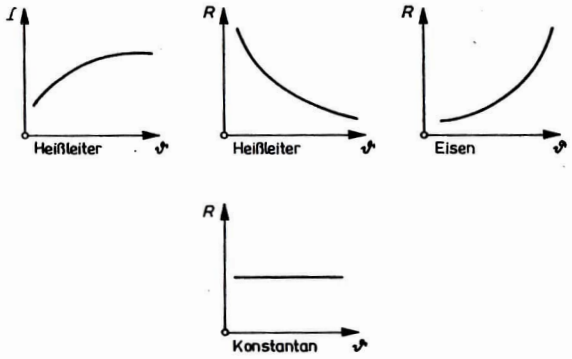
Die Wahl der Bauelemente für die Black-box bleibt dem Lehrer überlassen. Es ist darauf zu achten, daß die Spannung 6 V nicht überschreitet. Bei Verwendung der Spule sollte ein I-Kern genutzt werden, um beim Anlegen der Wechselspannung den Widerstand deutlich zu erhöhen.
Begründungen für die Kennlinien:

Ohmscher Widerstand: $U \sim I$, im Gleich- und Wechselstromkreis sind die Widerstände gleich groß.
Spule: $U \sim I$, im Wechselstromkreis ist der Widerstand größer als im Gleichstromkreis.
Thermistor: Mit zunehmender Spannung steigt die Stromstärke, die Steilheit der Kurve nimmt zu.
Glühlampe: Die Stromstärke steigt mit zunehmender Spannung, die Steilheit der Kurve nimmt ab.

EE 8 Stromstärke-Temperatur-Diagramm eines Thermistors

Zum Ablauf des Experiments

Als Eisen- bzw. Konstantanwiderstände eignen sich die im SEG-Elektrik enthaltenen Widerstände, die Plastkappen werden für das Experiment entfernt.
Die angelegte Spannung soll klein sein ($\leqq 2$ V), da sonst die Stromstärken zu groß werden.
Die Temperatur läßt sich am einfachsten verändern, wenn zuerst warmes Wasser genutzt wird und durch Zugabe von kaltem Wasser die Temperatur schrittweise erniedrigt wird. Es sollte darauf geachtet werden, daß die Ausgangstemperatur des Wassers recht groß ist.
Die Diagramme haben die folgenden Formen:

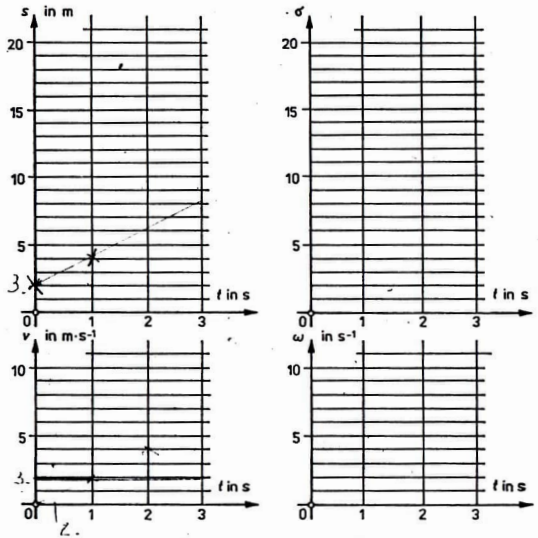


Arbeitsblatt

Datum	Name	Klasse . . . . .

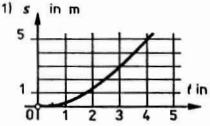
a) Zeichnen Sie nach den gegebenen Werten in verschiedenen Farben die Graphen !
b) Charakterisieren Sie in Stichworten den Bewegungsablauf !
c) Treffen Sie dazu Feststellungen über die wirkende Kraft bzw. das Drehmoment !
d) Machen Sie eine Aussage über die Energieänderung !

1. $a = 0$	2. $a = 2\,m \cdot s^{-2}$	3. $a = 0$	4. $a = 2\,m \cdot s^{-2}$
$v_0 = 0$	$v_0 = 0$	$v_0 = 2\,m \cdot s^{-1}$	$v_0 = 2\,m \cdot s^{-1}$
$s_0 = 0$	$s_0 = 0$	$s_0 = 2\,m$	$s_0 = 2\,m$
$\alpha = 0$	$\alpha = 2\,s^{-2}$	$\alpha = 0.$	$\alpha = 2\,s^{-2}$
$\omega_0 = 0$	$\omega_0 = 0$	$\omega_0 = 2\,s^{-1}$	$\omega_0 = 2\,s^{-1}$
$\sigma_0 = 0$	$\sigma_0 = 0$	$\sigma_0 = 2$	$\sigma_0 = 2$



Arbeitsblatt		7. Stunde
Datum	Name	Klasse . . . . .

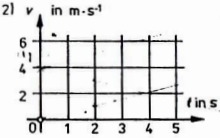
1) s in m



Das Diagramm beschreibt die gleichmäßig beschleunigte Bewegung eines Körpers der Masse 10 kg. Bestimmen Sie:

s_0 = s_4 =
v_0 = v_4 =
a = =
F = =

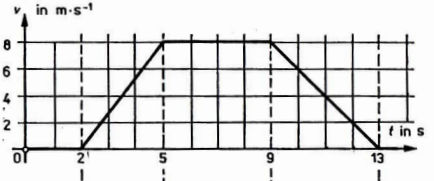
2) v in m·s^{-1}



Zeichnen Sie ein:

a) gleichförmige Bewegung mit 5 m·s^{-1}
b) gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit $v_0 = 0$ $a = 0{,}5\ \text{m·s}^{-2}$
c) gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit $v_0 = 4\ \text{m·s}^{-1}$ $a = 0{,}5\ \text{m·s}^{-2}$
d) gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit $v_0 = 4\ \text{m·s}^{-1}$ $a = -0{,}5\ \text{m·s}^{-2}$

3)



Abschnitt	I	II	III	IV	V
v_a in m·s^{-1}					
v_e in m·s^{-1}					
a in m·s^{-2}					
Δs in m					

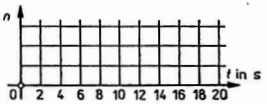
Arbeitsblatt

Datum	Name	Klasse . . . . .

1. Eine Kugel und ein Zylinder aus gleichem Material, mit gleicher Masse und gleichem Durchmesser rollen eine geneigte Ebene reibungsfrei hinab. Vergleichen Sie:

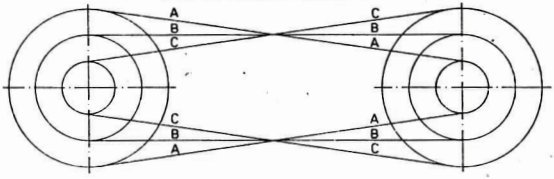
	Kugel	Zylinder
Energie	$E_{pot} = \underset{\text{oben}}{\quad} + \underset{\text{unten}}{\quad}$	$E_{pot} = \underset{\text{oben}}{\quad} + \underset{\text{unten}}{\quad}$
Formeln für Energie eingesetzt		
mit und	$J = \quad$ $\omega = \frac{v}{r}$	$J = \quad$ $\omega = \frac{v}{r}$
zusammenfassen		
umstellen	$v_k =$	$v_z =$
Vergleich	v_k	v_z

2. Ein Motor läuft aus dem Stillstand gleichmäßig beschleunigt an und erreicht in 10 s eine Drehzahl von 1500 min^{-1}, die dann konstant bleibt.
a) Zeichnen Sie das Drehzahl – Zeit – Diagramm!



b) Berechnen Sie die Winkelbeschleunigung!

3. Riementrieb
Die Durchmesser in beiden Riemenscheiben betragen 100 mm, 200 mm und 300 mm. Die treibende Scheibe läuft mit der Drehzahl 1500 min^{-1}.

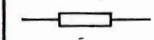
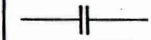
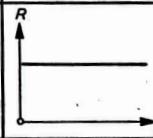
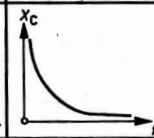
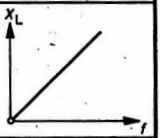
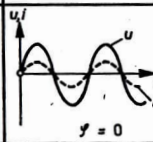
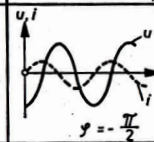
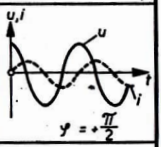


	Riemengeschwindigkeit	Drehzahl der getriebenen Scheibe
Bei Übersetzung A		
Bei Übersetzung B		
Bei Übersetzung C		

Arbeitsblatt

Datum ..... Name ..... Klasse .....

Ohmscher, kapazitiver und induktiver Widerstand im elektrischen Wechselfeld

	Ohmscher Widerstand R	Kapazitiver Widerstand X_C	Induktiver Widerstand X_L
Schaltzeichen			
Bestimmung des Widerstandes	$R = \frac{U}{I}$ (ϑ = konstant)	$X_C = \frac{U}{I}$ (U, I - Effektivwerte)	$X_L = \frac{U}{I}$ ($R \ll X_L$)
Widerstand ist abhängig von	Metallischer Leiter ϱ, l, A $R = \varrho \cdot \frac{l}{A}$	Kondensator f, C $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ ω - Kreisfrequenz ($\omega = 2\pi \cdot f$)	Spule ($R \ll X_L$) f, L $X_L = \omega \cdot L$
Frequenzabhängigkeit des Widerstandes			
Phasenbeziehungen			
Energieumwandlungen	Energie der Spannungsquelle ⇓ Wärme Strahlung	Energie der Spannungsquelle ⇓ Energie des elektrischen bzw. magnetischen Feldes ⇓ Energie der Spannungsquelle	