Physik

Klasse 11

Unterrichtshilfen

Unterrichtshilfen Physik Klasse 11

Volk und Wissen Volkseigener Verlag Berlin
1980

Autoren:

Dr. Lothar Meyer	Mechanik
Dr. Hartmut Neundorf	Thermodynamik kinetisch-statistische Betrachtungen
Dr. Margitta Dittrich u. Manfred Dittrich	Hauptsätze der Thermodynamik Thermodynamisches Verhalten der Stoffe, Praktikum
Dr. Wolfgang Manthei	Optik Strahlenoptik, Welleneigenschaften des Lichtes
Dr. Hans-Joachim Wilke	quantenhafte Absorption und Emission von Licht

Redaktion: Günter Meyer

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980
1. Auflage
Ausgabe 1980
Lizenz-Nr. 203/1000/79 (E 0221 62-1)
LSV 0645
Zeichnungen: Karin Hoppe
Einband: Erika Kerschner
Typografische Gestaltung: Atelier vwv
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
Schrift: 9/10 Extended Monotype
Redaktionsschluß: 13. 12. 1979
Bestell-Nr. 707 1666
Preis 7,50 M

Inhalt

Einleitung 9

Stoffgebiet Mechanik 13

Stoffeinheit Arbeit, Energie und Energieerhaltungssatz 13

Vorbemerkungen 13
Stoffverteilungsplan 14
1. Stunde: Geschwindigkeit und Beschleunigung 16
2. Stunde: Kraft. Newtonsches Grundgesetz 18
3. Stunde: Arbeit und Energie 21
4. Stunde: Arbeit-Energie-Beziehung 23
5. Stunde: Systematisierung des Arbeitsbegriffes 25
6. Stunde: Bestimmen der Arbeit 28
7. Stunde: Potentielle Energie 29
8. Stunde: Energieerhaltungssatz der Mechanik und seine Anwendung . . . 32

Stoffeinheit Kraftstoß, Impuls und Impulserhaltungssatz. Stoßvorgänge — Anwendung von Erhaltungssätzen 34

Vorbemerkungen 34
Stoffverteilungsplan 35

1. Stunde: Kraftstoß und Impuls 36
2. Stunde: Anwendungen zu Kraftstoß und Impuls 39
3. Stunde: Impulserhaltungssatz 41
4. Stunde: Anwendung des Impulserhaltungssatzes 44
5. Stunde: Unelastischer Stoß 45
6. Stunde: Elastischer Stoß 48
7. Stunde: Spezialfälle des elastischen Stoßes 50
8. Stunde: Festigungsstunde 53
9. Stunde: Kontrollstunde 55

Stoffgebiet Thermodynamik 57

Stoffeinheit Kinetisch-statistische Betrachtungen 57

Vorbemerkungen 57
Stoffverteilungsplan 59
1. Stunde: Grundbegriffe und Betrachtungsweisen 61
2. Stunde: Modell des idealen Gases 63
3. Stunde: Häufigkeitsverteilung von Teilchen 65
4. Stunde: Relative Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit der Anordnung der Teilchen 67
5. Stunde: Statistisches Gesetz der räumlichen Verteilung der Teilchen des idealen Gases 69
6. Stunde: Irreversible Zustandsänderungen 71
7. Stunde: Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases 73
8. Stunde: Folgerungen aus der räumlichen Verteilung und der Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases 75
9. Stunde: Druck des idealen Gases 77
10. Stunde: Volumen-Druck-Gesetz 79
11. Stunde: Temperatur des idealen Gases 81
12. Stunde: Thermische Prozesse 83

Stoffeinheit Hauptsätze der Thermodynamik 85

Vorbemerkungen 85
Stoffverteilungsplan 87
1. Stunde: Volumenarbeit 88
2. Stunde: Wärme als Prozeßgröße 92
3. Stunde: Der erste Hauptsatz der Thermodynamik 94
4. Stunde: Anwendung des ersten Hauptsatzes 96
5. Stunde: Energiebilanz und kalorische Gleichungen 98
6. Stunde: Isobare Wärmeübertragung und kalorische Messungen 100
7. Stunde: Schülerexperiment Wärmekapazität eines Kalorimeters 102
8. Stunde: Schülerexperiment Spezifische Wärmekapazität eines Festkörpers 102
9. Stunde: Zusammenfassung zum ersten Hauptsatz 105
10. u. 11. Stunde: Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik 107

Stoffeinheit Thermodynamisches Verhalten der Stoffe 110

Vorbemerkungen 110
Stoffverteilungsplan 112
1. Stunde: Die Abhängigkeit des thermodynamischen Verhaltens realer Stoffe von Druck und Temperatur 114
2. Stunde: Energiebilanzen bei Phasenübergängen 116
3. Stunde: Das Verhalten der Stoffe in Gebieten ohne Phasenumwandlung . 117
4. Stunde: Zustandsgleichung des idealen Gases 119
5. Stunde: Zustandsänderung des idealen Gases 121
6. Stunde: Adiabatische Zustandsänderungen 124
7. Stunde: Der Gasturbinenprozeß 126
8. Stunde: Der Kraftwerksprozeß (Wärmekraftwerk) 128
9. Stunde: Klassenarbeit 130

Stoffgebiet Optik 131

Stoffeinheit Strahlenoptik 131

Vorbemerkungen 131
Stoffverteilungsplan 132
1. Stunde: Einführung in die Strahlenoptik 134
2. Stunde: Reflexions- und Brechungsgesetz 136
3. Stunde: Totalreflexion des Lichtes 139
4. Stunde: Lichtbrechung und Bildpunktentstehung 141
5. Stunde: Abbildungsgleichung 143
6. Stunde: Schülerexperiment zur Abbildungsgleichung 144
7. Stunde: Einfache optische Geräte 146
8. Stunde: Fernrohr und Mikroskop 149
9. Stunde: Wiederholungsstunde 151

Stoffeinheit Welleneigenschaften des Lichtes 153

Vorbemerkungen 153
Stoffverteilungsplan 154
1. Stunde: Lichtwellen — Wasserwellen 155
2. Stunde: Interferenz des Lichtes 157
3. Stunde: Interferenz durch Reflexion und Brechung 160
4. Stunde: Interferenz durch Beugung am Doppelspalt 161
5. Stunde: Gitterspektren 165
6. Stunde: Schülerexperiment zur Wellenlängenbestimmung des Lichtes . . 167
7. Stunde: Festigung durch Wiederholen, Zusammenfassen und Anwenden (1. Variante) 168
7. Stunde: Leistungskontrolle (2. Variante) 169

Stoffeinheit Quantenhafte Absorption und Emission von Licht, Welle-Teilchenverhalten bei Mikroobjekten 169

Vorbemerkungen 169
Stoffverteilungsplan 171
1. Stunde: Der äußere lichtelektrische Effekt 175
2. Stunde: Die kinetische Energie der Fotoelektronen 177
3. Stunde: Lichtquanten 180
4. Stunde: Das Plancksche Wirkungsquantum 183
5. Stunde: Wellen- und Teilchenvorstellungen vom Licht 185
6. Stunde: Das Spektrum des Wasserstoffs 187
7. Stunde: Diskrete Energiezustände der Elektronenhülle 189
8. Stunde: Spektralanalyse 191
9. Stunde: Quantenhafte Anregung von Atomen 193
10. Stunde: Elektronenstoßexperiment von J. Franck und G. Hertz 196
11. Stunde: Der Laser 198
12. Stunde: Leistungskontrolle 200
13. Stunde: Wellen- und Teilcheneigenschaften bei Mikroobjekten (I) . . . 201
14. Stunde: Wellen- und Teilcheneigenschaften bei Mikroobjekten (II) . . . 204

Stoffgebiet Praktikum 206

Vorbemerkungen 206
Experimentelle Arbeit in der Abiturstufe 206
Bewertung des Praktikums 207
Stoffverteilungsplan 208
Organisationsplan 210
Vorbereitung und Auswertung des Praktikums 211
1. Stunde: Fehlerbetrachtungen 212
2. Stunde: Einführung in das physikalische Praktikum Kl. 11 213

Gruppenexperimente 215
Einzelexperimente 236
Arbeit mit Fachhelfern 236
Arbeitsblätter 237

Einleitung

In der Unterrichtshilfe 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 Unterrichtshilfe soll den Lehrer bei der Realisierung der Lehrplanforderungen unterstützen. Lehrplantreue ist deshalb ein wesentliches Anliegen der Unterrichtshilfe. Die schöpferische Arbeit des Lehrers bei der Verwendung der Unterrichtshilfe besteht in der zweckmäßigen Umsetzung der vermittelten Anregungen und in der Anwendung auf die konkrete Klassen- und Unterrichtssituation.
In der Unterrichtshilfe wird im allgemeinen jeweils 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 ist vom Lehrer stets auch 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 Unterrichtshilfe ist wie der Lehrplan gegliedert in die

Stoffgebiete
Mechanik, Thermodynamik, Optik, 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 als komplexen Prozeß der Bildung und Erziehung bekannt machen. 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.

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 die Beziehungen aufgezeigt, die wesentlich sind und vor allem polytechnischen Charakter haben. Als Vorleistung 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" mit Band- und Experimentnummer entsprechend der neuesten Ausgabe verwiesen.
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 auch besonders zur selbständigen Vorbereitung der Schüler auf einen neuen Unterrichtsgegenstand und zur didaktischen Zielstellung und Zielorientierung geeignet. Der Einführungsabschnitt kann im wesentlichen bei der Arbeit mit dem Lehrbuch in der häuslichen Vorbereitung auf den kommenden Unterricht durch die Schüler genutzt werden. Er eignet sich ganz besonders zur 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 polytechnischen Inhalt des physikalischen Bildungsgutes deutlich zu machen, wird in besonders ausgeprägter Form auf verschiedenen 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 Schülerlernarbeit 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 in der betreffenden Unterrichtsstunde voll realisiert werden kann; denn der Bildungs- und Erziehungsprozeß ist ein komplexer, er erstreckt sich nicht nur auf eine Unterrichtsstunde und nicht nur auf ein Unterrichtsfach.

Unterrichtsmittel. Es werden hier solche Geräte und Materialien genannt, die zusätzlich zu den in den Versuchsbeschreibungen der PSV 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 dieser Unterrichtshilfe bedeuten

A	= Anwendung	LV	= Lehrervortrag
AB	= Arbeitsblatt	Ma	= Mathematik
Abb	= Abbildung	Ph	= Physik
AT	= Anschauungstafel	PhiS	= Zeitschrift „Physik in der Schule“
Bio	= Biologie	PSV	= Physikalische Schulversuche
DE	= Demonstrationsexperiment	R	= Lichtbildreihe
E	= Erstbehandlung, Einführung	S	= Systematisierung
EE	= Einzelexperiment	SE	= Schülerexperiment
Exp	= Experiment	SSA	= Selbständige Schülerarbeit
F	= Film	SV	= Schülervortrag
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)
K	= Kontrolle	Ü	= Übung
KF	= Kassettenfilm	UG	= Unterrichtsgespräch
Kls	= Klassensatz	W	= Wiederholung
LB	= Lehrbuch	WiPh	= Wissensspeicher Physik
LBA	= Lehrbuchabbildung	Z	= Zusammenfassung
LP	= Lehrplan		

Stoffgebiet Mechanik 17 Stunden

Stoffeinheit Arbeit, Energie und Energieerhaltungssatz 8 Stunden

Vorbemerkungen

Der Physikunterricht in der Abiturstufe beginnt mit der Behandlung von Begriffen und Gesetzen der Kinematik und Dynamik. Ihre exakte Beherrschung ist eine wesentliche Voraussetzung für das Verständnis aller nachfolgenden Stoffgebiete. Der Schwerpunkt liegt bei dieser Stoffeinheit nicht in einer starken Erweiterung des Wissens, das sich die Schüler bis Klasse 10 angeeignet haben, sondern in einer Präzisierung, Vertiefung und Systematisierung dieses Wissens. Das gilt besonders für die Begriffe Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Arbeit, potentielle und kinetische Energie sowie für die Newtonschen Gesetze und den Energieerhaltungssatz der Mechanik.
Im Zusammenhang mit der Wiederholung und Präzisierung von Begriffen besteht die Möglichkeit, die Schüler auf das Vorgehen bei Begriffsbildungen aufmerksam zu machen. Sie werden dadurch mit Denkweisen bekannt gemacht, die über die Physik hinaus von Bedeutung sind. Hinweise zu den Begriffen Geschwindigkeit und Masse findet der Lehrer in der „Methodik des Physikunterrichts in der DDR und in der UdSSR", Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978.
Bei der Behandlung der Kraft besteht das höhere Niveau im Vergleich zu Klasse 9 darin, daß sie als Wechselwirkungsgröße zwischen zwei Objekten gekennzeichnet und die Bedingung für das statische Gleichgewicht unter diesem Aspekt betrachtet wird. Durch die Einführung des Begriffes mechanisches System ergibt sich die Möglichkeit, die Größen Arbeit und Energie einerseits deutlicher voneinander abzugrenzen, andererseits den Zusammenhang zwischen ihnen exakter zu formulieren. Die Arbeit wird als Prozeßgröße zur Erfassung der Energieübertragung zwischen einem System und seiner Umgebung, die Energie als Zustandsgröße zur Erfassung des momentanen Arbeitsvermögens eines Systems charakterisiert. Die Beziehung zwischen Arbeit und Energie ist an einer Reihe von Beispielen aus Natur und Technik zu konkretisieren. Es bietet sich hier die Betrachtung von technischen Systemen, Lebewesen, chemischen Vorgängen, geophysikalischen Erscheinungen u. a. an.
Bei der Behandlung des Begriffes Arbeit ist seine schrittweise Erweiterung besonders hervorzuheben: Zunächst wird die Bedingung Kraft in Richtung des Weges aufgehoben, dann werden auch veränderliche Kräfte zugelassen. Da die integrale Schreibweise wegen der fehlenden mathematischen Kenntnisse nicht angewendet werden kann, sind die Schüler zur Bestimmung der Arbeit aus F-s-Diagrammen zu befähigen. Dies ist ebenso wie die Präzisierung der Begriffe Arbeit und Energie eine wichtige Vorleistung für die Behandlung der Thermodynamik.
Die Präzisierung des Begriffs potentielle Energie erfolgt durch eine gegenüber Klasse 9 umfassendere Charakterisierung.
Im Zusammenhang mit der Wiederholung des Energieerhaltungssatzes der Mecha-

nik und dem Aufstellen von Energiebilanzen besteht die Möglichkeit, mit den Schülern auch technisch-ökonomische Probleme zu diskutieren und auf Fragen der rationellen Nutzung von Energie einzugehen. Hierbei sind die Schüler zum Werten von Sachverhalten im Sinne unserer wissenschaftlichen Weltanschauung anzuregen. Die Bedeutung des Energieerhaltungssatzes wird den Schülern auch dadurch bewußt gemacht, daß aus ihm spezielle Gesetze abgeleitet werden.
Während bei der Behandlung der Mechanik in Klasse 9 das empirische Vorgehen überwiegt, kann in der Abiturstufe das theoretische Vorgehen stärker betont werden. Möglichkeiten dafür bestehen unter anderem bei der Herleitung von Spezialfällen der mechanischen Arbeit und beim Ableiten von Gesetzen aus dem Energieerhaltungssatz der Mechanik. Dabei ist den Schülern das Wesen der Erkenntniswege deutlich zu machen.
Auch bei einem stärker theoretischen und systematisierenden Vorgehen ist es im Interesse der Anschaulichkeit und der Unterstützung des Erkenntnisprozesses der Schüler zweckmäßig, Experimente in den Unterricht einzubeziehen. In den Stundenentwürfen sind dazu Vorschläge enthalten.
Der Unterricht in der Stoffeinheit ist so zu gestalten, daß hohe Anforderungen an die Aktivität und Selbständigkeit der Schüler gestellt werden. Das gilt besonders für das Reaktivieren bereits behandelten Stoffes, das Interpretieren von Gesetzen sowie das Lösen von mathematisch-physikalischen und anderen Aufgaben. Das Stoff-Zeit-Verhältnis bietet dafür gute Voraussetzungen.
Große Aufmerksamkeit ist dem Lösen von Aufgaben zu widmen. Sie sollen so ausgewählt werden, daß die Schüler die behandelten Begriffe und Gesetze praxisverbunden in vielfältiger Weise anwenden müssen. Beim Lösen von Aufgaben sind alle Möglichkeiten der erzieherischen Einflußnahme zu nutzen. Das bedeutet nicht nur die Erziehung der Schüler zu Sorgfalt, Exaktheit, Zielstrebigkeit und kritischer Wertung der eigenen Arbeit zu gewährleisten, sondern auch ökonomische und weltanschauliche Aspekte in die Diskussion von Ergebnissen einzubeziehen sowie die darzustellenden Sachverhalte im Sinne unserer wissenschaftlichen Weltanschauung kritisch zu werten.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Geschwindigkeit und Beschleunigung** Einführung in den Physikunterricht, Definition und Charakterisierung von Geschwindigkeit und Beschleunigung	Geschwindigkeit und Beschleunigung (Ph 9)	DE: Zeigen verschiedener Bewegungsvorgänge
2. **Kraft, Newtonsches Grundgesetz** Kraft als Wechselwirkungsgröße Bedingung für statisches Gleichgewicht Newtonsches Grundgesetz	Kraft. Wirkungen von Kräften, Wechselwirkungsgesetz, Newtonsches Grundgesetz (Ph 7 und 9)	DE: Demonstration der Wirkung von Kräften. Nachweis von actio = reactio PSV 1/2, V 3.1.1., V 3.1.2., V 3.1.5.

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
3. Arbeit und Energie Definition der mechanischen Arbeit Formen von Arbeit und Energie Energieerhaltungssatz der Mechanik	Formen der Arbeit und der mechanischen Energie (Ph 7 und 9)	DE: Zeigen verschiedener Formen mechanischer Arbeit WiSp Ph, S. 112/113 LB Ph 11, S. 14/15
4. Arbeit-Energie-Beziehung Begriff mechanisches System Präzisierung der Begriffe Arbeit und Energie Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie	Begriffe Arbeit und Energie, Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie (Ph 9)	DE: Nachweis des Arbeitsvermögens eines Körpers mit bestimmter Energie. PSV 1/2, V 5.1.1.
5. Systematisierung des Arbeitsbegriffes Arbeit bei konstanter Kraft in Richtung des Weges Arbeit bei konstanter, unter beliebigem Winkel angreifender Kraft Arbeit bei nicht konstanter Kraft	Definition der mechanischen Arbeit, Federspannarbeit (Ph 7 und 9)	Polylux, FO
6. Bestimmen der Arbeit in unterschiedlichen Fällen Lösen von Aufgaben	Definition der mechanischen Arbeit, Formen der Arbeit, Arbeit-Energie-Beziehung (Ph 9)	Vergabe eines Schülervortrages (Thema und Schwerpunkte siehe Stundenentwurf)
7. Potentielle Energie Begriff der potentiellen Energie potentielle Energie eines Körpers im Gravitationsfeld der Erde und einer gespannten Schraubenfeder	Potentielle Energie (Ph 9)	Polylux, FO DE: Nachweis des Arbeitsvermögens von Körpern mit bestimmter potentieller Energie (PS V 1/2, V 4.4.6., V 5.2.4.)
8. Energieerhaltungssatz der Mechanik und seine Anwendung Energiebilanzen Ableitung spezieller Gesetze aus dem Energieerhaltungssatz der Mechanik	Energieerhaltungssatz der Mechanik (Ph 9)	

1. Stunde: Geschwindigkeit und Beschleunigung

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Definitionen von Geschwindigkeit und Beschleunigung;
- wissen, daß die Geschwindigkeit und die Beschleunigung vektorielle Größen sind;
- können Bewegungsvorgänge mit Hilfe der Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung beschreiben;
- sind in der Lage, aus Diagrammen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen zu ermitteln.

Unterrichtsmittel

Kugel
Geneigte Ebene
Hakenkörper
Faden

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Einführung in den Physikunterricht der Abiturstufe **10 min**	**Geben eines Überblicks über den Inhalt und die Ziele des Physikunterrichts in der Abiturstufe, Motivieren für das Stoffgebiet Mechanik (LV, LB S. 7)**
Im Physikunterricht der Abiturstufe werden alle wesentlichen Teilgebiete der Physik behandelt. Es erfolgt eine Vertiefung und Erweiterung des bis zur Klasse 10 behandelten Stoffes sowie Ausblicke auf Bereiche der modernen Physik und auf weltanschaulich-philosophische Probleme.	
(2) Definition und Charakterisierung der Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung (W) **20 min**	**Nennen und Erläutern der Definition von Geschwindigkeit und Beschleunigung (DE, UG, TB 17a) Kennzeichnen von Geschwindigkeit und Beschleunigung als vektorielle Größen (UG, TB 17b)**
Die Geschwindigkeit kennzeichnet den Bewegungszustand eines Körpers. Sie ist als Quotient aus dem zurückgelegten Weg und der dazugehörigen Zeit definiert. Die Beschleunigung kennzeichnet die Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers. Sie ist als Quotient aus der Änderung der Geschwindigkeit und der dazugehörigen Zeit definiert. Beide Definitionen gelten nur für spezielle Fälle. Geschwindigkeit und Beschleunigung sind vektorielle, durch Betrag und Richtung charakterisierte Größen.	
(3) Festigung des Wissens **15 min**	**Lösen von Aufgaben zur Geschwindigkeit und Beschleunigung (SSA)**

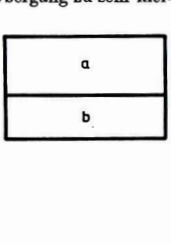
Erläuterungen zum Stundenverlauf

Inhaltlicher Schwerpunkt der Stunde ist die Festigung des Wissens der Schüler über die in Klasse 9 bereits behandelten Begriffe Geschwindigkeit und Beschleunigung. Eine Erweiterung gegenüber Klasse 9 ist hier nicht vorgesehen.

(1) Die Grundlage für den Lehrervortrag über den Inhalt und die Ziele des Physikunterrichts in den Klassen 11 und 12 bildet das Lehrplanvorwort und der Einführungstext im LB. An Beispielen aus verschiedenen Stoffgebieten (Raketenantrieb, Energiebilanzen bei Wärmekraftmaschinen, Wirkungsweise von Fotozellen, Wirkungsweise und Zusammenwirken elektronischer Bauelemente u. a.) kann die Bedeutung des Inhalts für die Technik und das tägliche Leben aufgezeigt werden. Es ist aber deutlich zu machen, daß nicht die Behandlung einzelner technischer Geräte und Prozesse, sondern die diesen zugrunde liegenden physikalischen Gesetze, Methoden und Verfahren der Erkenntnisgewinnung sowie mit der Physik verbundene weltanschaulich-philosophische Probleme im Mittelpunkt des Unterrichts stehen werden.
Als eine wesentliche Grundlage für das Verständnis aller Teilgebiete der Physik wird die Mechanik herausgestellt. Die Schüler werden darauf orientiert, daß in den nächsten Stunden eine gründliche Wiederholung und Vertiefung von Begriffen und Gesetzen der Kinematik und Dynamik erfolgt.

(2) Der Lehrer zeigt zunächst einige einfache Experimente zu verschiedenen Bewegungsvorgängen (Kugel auf horizontaler Unterlage und auf geneigter Ebene, freier Fall, gleichförmige Kreisbewegung u. a.). Die Schüler erhalten die Aufgabe, diese Bewegungsvorgänge mit Hilfe der Größen Geschwindigkeit und Beschleunigung zu beschreiben. Daran kann sich die Frage anschließen, was man in der Physik unter Geschwindigkeit beziehungsweise Beschleunigung versteht. Besonderer Wert ist darauf zu legen, durch Formulierungen in Worten (siehe Stundenverlauf) das Wesen dieser physikalischen Größen den Schülern deutlich zu machen. Die quantitativen Formulierungen (siehe TB) werden wiederholt und es wird erläutert, unter welchen Voraussetzungen sie anwendbar sind. Dabei sind die Definitionen $v = \Delta s/\Delta t$ und $a = \Delta v/\Delta t$ als eine erste Verallgemeinerung zu kennzeichnen. Auf die differentielle Schreibweise für die Momentangeschwindigkeit kann wegen der fehlenden mathematischen Kenntnisse der Schüler noch nicht eingegangen werden. Im Hinblick auf die Einführung des Differentialquotienten in der Mathematik ist es aber zweckmäßig, einen Hinweis darauf zu geben, daß man beim Übergang zu sehr kleinen Δt näherungsweise die Momentangeschwindigkeit erhält.

Tafelbild
Bild 17/1



Anschließend wird wiederholt, daß aus s-t-Diagrammen und v-t-Diagrammen Informationen über Wege, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen entnommen werden können. Zur Übung werden die Diagramme eines Bewegungsvorganges analysiert. Dazu eignet sich beispielsweise Bild 11/1 des LB. Danach wird herausgearbeitet, daß für die Kennzeichnung des Bewegungszustandes eines Körpers beziehungsweise der Änderung seines Bewegungszustandes die Angabe von Betrag und Richtung notwendig ist.
Zur Festigung zeichnen die Schüler an ausgewählten Beispielen (gleichförmige Kreisbewegung, Anfahr- und Bremsvorgänge) die Geschwindigkeits- bzw. Beschleunigungsvektoren für bestimmte Bahnpunkte ein und erläutern ihre Skizze.
Dabei ist herauszuarbeiten, daß nur dann eine unbeschleunigte Bewegung vorliegt, wenn $\vec{v}$ = konstant ist. In jedem anderen Falle ist die Bewegung beschleunigt.

(3) Im letzten Teil der Stunde werden einige Aufgaben gelöst. Der Lehrer kann hierbei auf die Aufgaben im Lehrbuch, S. 13, und auf Aufg. 8, S. 164 zurückgreifen. Aus diesen Aufgaben kann er auch die HA auswählen.

2. *Stunde: Kraft, Newtonsches Grundgesetz*

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Wirkung von Kräften;
- wissen, daß die Kraft eine Wechselwirkungsgröße ist;
- gewinnen die Erkenntnis, daß sich ein Körper dann im statischen Gleichgewicht befindet, wenn die Resultierende aus allen an ihm angreifenden Kräften null ist;
- kennen das Newtonsche Grundgesetz der Dynamik und können es bei der Lösung von Aufgaben anwenden.

Unterrichtsmittel

PSV 1/2, V 3.1.1.	Kugel	Plastilina
PSV 1/2, V 3.1.2.	Schraubenfeder	Kleiner Wagen
PSV 1/2, V 3.1.5.		

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Kraft als Wechselwirkungsgröße (W) **15 min**	HA (K) Demonstrieren und Beschreiben der Wirkungen von Kräften (DE, UG, TB 20/1 a), Charakterisieren der Kraft als Wechselwirkungsgröße (DE, UG, TB 20/1 b)
Kräfte können Verformungen und Änderungen des Bewegungszustandes von Körpern hervorrufen. Kräfte sind Ausdruck von Wechselwirkungen zwischen Körpern. Dabei wird bei zwei Körpern auf jeden der beiden Körper eine Kraft ausgeübt. Beide Kräfte haben gleiche Beträge und eine gemeinsame Wirkungslinie, aber entgegengesetzte Richtung. Es gilt: $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Bedingung für statisches Gleichgewicht (E) **10 min**	Analysieren der Kräfte, die auf einen sich im statischen Gleichgewicht befindlichen Körper wirken (UG) Herausarbeiten der Bedingung für statisches Gleichgewicht eines Körpers (UG, TB 20/1 c)
Ein Körper befindet sich im statischen Gleichgewicht, wenn die Summe aller an ihm angreifenden Kräfte null ist. Die einzelnen Kräfte stammen dabei aus verschiedenen Wechselwirkungen.	
(3) Newtonsches Grundgesetz der Dynamik (W, Fst) **20 min**	Beschreiben des Zusammenhangs zwischen Kraft und Beschleunigung an Beispielen (UG) Nennen und Interpretieren des Newtonschen Grundgesetzes (UG, TB 21/1) Lösen von Aufgaben (SSA)
Ein Körper wird nur dann beschleunigt, wenn auf ihn eine Kraft wirkt. Die Beschleunigung ist von der auf den Körper wirkenden Kraft und von seiner Masse abhängig. Es gilt: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Der Lehrer zeigt zunächst einige einfache DE (beispielsweise entsprechend PSV 1/2, V 3.1.1. und V 3.1.2., Verformung von Plastilina, Änderung des Bewegungszustandes einer Kugel oder eines kleinen Wagens), bei denen die Wirkung von Kräften — Änderung des Bewegungszustandes und Verformung — deutlich wird. Im UG werden die Wirkung von Kräften herausgearbeitet und weitere Beispiele aus der Technik und aus dem Erfahrungsbereich der Schüler genannt.
Anschließend ist herauszuarbeiten, daß die Kraft eine Wechselwirkungsgröße, im speziellen Fall Ausdruck der Wechselwirkung zwischen zwei Körpern ist. Das kann in folgender Weise an die Schüler herangetragen werden: Es werden die Kräfte betrachtet, die zwischen zwei Himmelskörpern K_1 und K_2 wirken. Andere Einflüsse bleiben unberücksichtigt.
Es handelt sich dann um eine Wechselwirkung, die durch zwei Kräfte beschrieben werden kann. Diese haben die gleichen Beträge und eine gemeinsame Wirkungslinie, aber entgegengesetzte Richtung.
Es gilt $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$ (actio = reactio). Zur Bestätigung dieses Gesetzes kann der Lehrer ein Experiment entsprechend PSV 1/2, V 3.1.5., zeigen.
Bei fast allen Sachverhalten, bei denen solche Wechselwirkungen eine Rolle spielen, wird in der Regel nur eine der beiden Kräfte in die Betrachtung einbezogen. Das kann den Schülern an einigen Beispielen (Mensch auf einer Personenwaage — es interessiert nur die Gewichtskraft des Menschen; Erklärung von Ebbe und Flut — es interessiert nur die Gravitationskraft des Mondes auf die Erde) bewußt gemacht werden.

(2) Die Beantwortung der Frage, unter welcher Bedingung sich ein Körper im statischen Gleichgewicht befindet, wenn er gleichzeitig mehreren Wechselwirkungen unterworfen ist, kann in Abhängigkeit von der konkreten Klassensituation in unterschiedlicher Ausführlichkeit erfolgen. Dabei ist aber vom Lehrer zu beachten, daß sich dahinter eine schwierige Problematik verbirgt, die nicht in allen Einzelheiten im Physikunterricht behandelt werden kann. Wesentlich ist dabei das Herausarbeiten des Zusammenhangs zwischen Wechselwirkungen und Gleichgewicht.

Als Beispiel wird ein Körper auf einer Tischplatte betrachtet. In diesem Falle sind zwei Wechselwirkungen von Interesse:

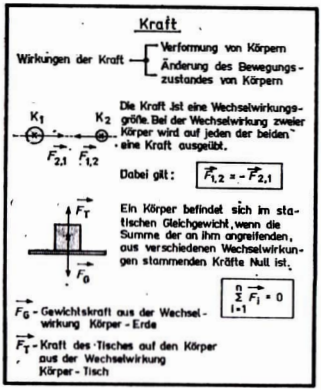
— Die Wechselwirkung zwischen Körper und Erde; von den beiden zu ihrer Beschreibung möglichen Kräften wird die ausgewählt, die als Gewichtskraft $\vec{F}_G$ am Körper angreift und auf den Erdmittelpunkt hin gerichtet ist.
— Die Wechselwirkung zwischen Körper und Tisch; zu ihrer Beschreibung wird die Kraft $\vec{F}_T$ gewählt (vgl. TB 20/1c), mit der die Tischplatte auf Grund ihrer Verformung auf den Körper wirkt. Sie ist vom Erdmittelpunkt weg gerichtet.

Der Körper befindet sich dann im statischen Gleichgewicht, wenn die Summe aller an ihm angreifenden, aus **verschiedenen** Wechselwirkungen stammenden Kräfte Null ist.
Die Angriffspunkte der Kraft sollten nicht in den Vordergrund gestellt werden. Gegebenenfalls kann darauf verwiesen werden, daß Kräfte längs ihrer Wirkungslinie verschoben werden können. Zur Festigung kann Bild 10/1 des LB von den Schülern analysiert werden.

(3) Anknüpfend an den ersten Teil der Stunde wird nun eine Wirkung der Kraft — die Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers — in den Mittelpunkt gerückt. Das Gesetz $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ kann als bekannt vorausgesetzt werden. Schwerpunkt dieses Teils ist deshalb die Interpretation dieses Gesetzes und seine Anwendung bei der Lösung von Aufgaben.
Herauszuarbeiten sind vor allem drei Aussagen:

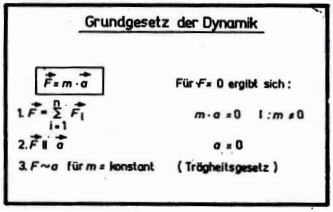
1. Die bei $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ anzusetzende Kraft $\vec{F}$ ist immer die Resultierende aller am Körper angreifenden Kräfte.
2. Die Richtung der Beschleunigung stimmt mit der Richtung der am Körper angreifenden Kraft überein.
3. Für einen Körper konstanter Masse gilt $F \sim a$. Auf die Veränderlichkeit der Masse mit der Geschwindigkeit und die sich daraus ergebenden Konsequenzen bezüglich der möglichen Beschleunigung kann an dieser Stelle hingewiesen werden.

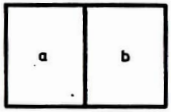
Tafelbild
Bild 20/1



a
b
c

Tafelbild
Bild 21/1





Als spezieller Fall wird der Fall $F = 0$ betrachtet.
Dann ergibt sich das Trägheitsgesetz. Hier liegt ein Beispiel für eine einfach überschaubare Deduktion vor.
Abschließend werden einige Aufgaben zum Newtonschen Grundgesetz der Mechanik gerechnet (LB, S. 164, Aufg. 4, 6).
Als Hausaufgabe eignen sich die Aufgabe 3, S. 9, und Aufgabe 9 (LB. S. 164).

3. Stunde: Arbeit und Energie

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Hubarbeit, die Beschleunigungsarbeit und die Reibungsarbeit als Beispiele für Formen der mechanischen Arbeit;
- wissen, daß die kinetische und die potentielle Energie Formen der mechanischen Energie sind;
- kennen den Energieerhaltungssatz der Mechanik und den Begriff mechanisches System.

Unterrichtsmittel

Feste Rolle	Hakenkörper	Federkraftmesser
Kleiner Wagen	Holzklotz	

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Mechanische Arbeit und Gleichung zu ihrer Berechnung (W) **10 min**	HA (K) Kennzeichnen der physikalischen Größe Arbeit (UG) Wiederholen der Gleichung zur Berechnung der mechanischen Arbeit (UG, TB 22/1 a)
Mechanische Arbeit wird verrichtet, wenn sich Körper unter dem Einfluß von Kräften bewegen. Wenn die an einem Körper angreifende Kraft konstant ist und in Richtung seiner Bewegung wirkt, dann gilt: $W = F \cdot s$.	

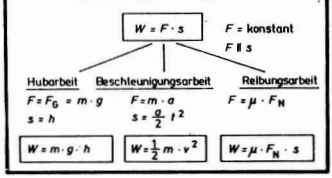
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Formen der mechanischen Arbeit (W, S) **20 min**	Ableiten der Gleichungen zur Berechnung der Hubarbeit, der Beschleunigungsarbeit und der Reibungsarbeit (UG, SSA, TB 22/1b) Lösen von Aufgaben (SSA)
Formen der mechanischen Arbeit sind beispielsweise die Hubarbeit, die Beschleunigungsarbeit und die Reibungsarbeit. Die Gleichungen zu ihrer Berechnung lassen sich deduktiv aus der Gleichung $W = F \cdot s$ herleiten.	
(3) Formen mechanischer Energie, Energieerhaltungssatz der Mechanik, Begriff des mechanischen Systems (W, E) **15 min**	Wiederholen der Begriffe potentielle und kinetische Energie und Erläutern an Beispielen (UG, TB 23/1a) Formulieren des Energieerhaltungssatzes der Mechanik (UG, TB 23/1b) Klären des Begriffes mechanisches System (SSA mit dem LB, S. 14/15)
Potentielle und kinetische Energie sind Formen der mechanischen Energie. In einem abgeschlossenen, reibungsfreien mechanischen System ist die mechanische Gesamtenergie konstant.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Nach einer Wiederholung der Newtonschen Gesetze und der Kontrolle der HA wird den Schülern das Ziel der Stunde mitgeteilt. Es besteht darin, das Wissen über mechanische Arbeit und Energie zu wiederholen und zu festigen. Der physikalische Begriff Arbeit ist deutlich gegen den umgangssprachlichen Begriff abzugrenzen. Die Schüler müssen erkennen, daß Arbeit immer mit Bewegung verbunden ist, also keinen Zustand, sondern einen Prozeß beschreibt. Bei der Gleichung $W = F \cdot s$ ist deutlich auf die Gültigkeitsbedingungen (Kraft konstant, Kraft in Richtung des Weges) hinzuweisen.
(2) Mit Hilfe einfacher Experimente (Heben eines Körpers, Beschleunigen eines kleinen Wagens, Ziehen eines Holzklotzes auf einer horizontalen Unterlage) demonstriert der Lehrer verschiedene Formen der mechanischen Arbeit (vgl. TB 22/1b). Die Schüler nennen weitere Beispiele für diese Formen mechanischer Arbeit aus ihrem Erfahrungsbereich. Gemeinsam mit ihnen oder gegebenenfalls auch in SSA werden aus der Gleichung $W = F \cdot s$ die Gleichungen zur Berechnung der Arbeit bei den genannten Formen abgeleitet (vgl. TB 22/1b). Danach lösen die Schüler selbständig Aufgabe 10 aus dem LB, S. 164.
(3) Die Begriffe potentielle und kinetische Energie werden wiederholt (UG) und von den Schülern an Beispielen erläutert. Daran schließt sich eine Wiederholung des Energieerhaltungssatzes der Mechanik an.

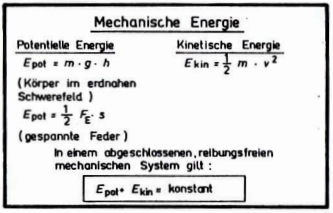
Tafelbild

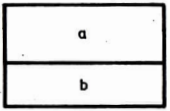
Bild 22/1



a
b

Tafelbild
Bild 23/1





Im Zusammenhang mit der vollständigen Formulierung des Energieerhaltungssatzes der Mechanik wird die Frage aufgeworfen, wodurch ein mechanisches System beziehungsweise ein abgeschlossenes mechanisches System gekennzeichnet ist. Dabei geht es nicht darum, den Schülern eine Definition für diesen Begriff zu geben. Sie sollen aber wesentliche Merkmale des Begriffes kennenlernen. Diese sollen sie sich selbständig (LB, S. 14, 15) erarbeiten und im Heft notieren. Eine Kontrolle und Akzentuierung erfolgt zu Beginn der darauffolgenden Stunde.

4. Stunde: Arbeit-Energie-Beziehung

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen, daß die Arbeit eine Prozeßgröße zur Erfassung der Energieübertragung und die Energie eine Zustandsgröße zur Erfassung des Arbeitsvermögens eines Systems ist;
- wissen, daß die an einem mechanischen System verrichtete Arbeit gleich der Änderung seiner mechanischen Energie ist, und lernen die Beziehung $\Delta(E_{kin} + E_{pot}) = W$ kennen;
- können verschiedene Beispiele analysieren und dabei die Arbeit-Energie-Beziehung anwenden.

Unterrichtsmittel

PSV 1/2, V 5.1.1.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Präzisierung der Begriffe Arbeit und Energie (W, S) **10 min**	Wiederholen wesentlicher Merkmale des Begriffes mechanisches System (UG) Analysieren des Zustandes und der Zustandsänderung eines Systems. Kennzeichnen der Arbeit als Prozeßgröße und der Energie als Zustandsgröße (UG, TB 25/1 a)
Die Arbeit ist eine Prozeßgröße. Sie charakterisiert den Prozeß der Energieübertragung zwischen einem System und seiner Umgebung. Die Energie ist eine Zustandsgröße. Sie kennzeichnet das Arbeitsvermögen eines Systems.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Zusammenhang zwischen Arbeit und Energie (E) **20 min**	Analysieren der verrichteten Arbeit und der Änderung der Energie an verschiedenen Systemen (UG) Herausarbeiten des Zusammenhangs zwischen Arbeit und Energie (UG, DE, TB 25/1 b)
Die an einem mechanischen System verrichtete Arbeit ist gleich der Änderung der mechanischen Energie dieses Systems. Es gilt $\Delta(E_{pot} + E_{kin}) = W$.	
(3) Anwenden der Arbeit-Energie-Beziehung (Fst) **15 min**	Lösen von Aufgaben (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Der Lehrer orientiert die Schüler darauf, daß in dieser Stunde unter Zuhilfenahme des Begriffes mechanisches System die in der vorhergehenden Stunde wiederholten Begriffe Arbeit und Energie einerseits deutlicher voneinander abgegrenzt, andererseits der enge Zusammenhang zwischen ihnen untersucht werden soll. Dazu werden zunächst wesentliche Merkmale des Begriffes mechanisches System wiederholt. Die Schüler können sich dabei auf ihre erarbeiteten Aufzeichnungen (LB, S. 14, 15) stützen.
Es ist herauszuarbeiten:

- Ein mechanisches System besteht aus einem oder mehreren Körpern.
- Ein mechanisches System muß deutlich von seiner Umgebung abgegrenzt sein.
- Bezüglich der Kräfte wird zwischen inneren Kräften (Wechselwirkungen zwischen den Elementen des Systems) und äußeren Kräften (Wechselwirkungen zwischen System und seiner Umgebung) unterschieden.
- Bei der Wechselwirkung mit der Umgebung ist immer das Gesamtsystem zu betrachten.

Anschließend wird an einem leicht überschaubaren Beispiel (Heben eines Körpers) das System abgegrenzt, und es werden verschiedene Zustände und Zustandsänderungen hinsichtlich der Energie und der verrichteten Arbeit analysiert. Die Arbeit wird als Prozeßgröße, die Energie als Zustandsgröße gekennzeichnet (vgl. TB).

(2) Der quantitative Zusammenhang wird an zwei Beispielen (vgl. TB) herausgearbeitet und danach vom Lehrer mitgeteilt, daß der Zusammenhang $\Delta E = W$ für beliebige Fälle und auch über den Bereich der Mechanik hinaus gilt.
Aus den an der Tafel skizzierten Beispielen ist ersichtlich, daß sich Arbeit und Energie zwar nicht in den quantitativen, aber in den qualitativen Begriffsmerkmalen unterscheiden. Darauf sollen die Schüler hingewiesen werden.
Am Beispiel eines Demonstrationsexperiments (PSV 1/2, V 5.1.1.) und an weiteren Beispielen (etwa Anfahr- und Bremsvorgängen bei Kraftfahrzeugen) wird den Schülern bewußtgemacht, daß sich beim Verrichten von Arbeit die mechanische Energie des Systems entweder vergrößert oder verkleinert. Im ersten Falle wird die Arbeit mit einem positiven, im zweiten Falle mit einem negativen Vorzeichen versehen. Diese Festlegung ist willkürlich, aber, wie sich später zeigt, zweckmäßig.
(3) Zur Festigung wird die Arbeit-Energie-Beziehung von den Schülern selbständig bei der Lösung von Aufgaben angewendet. Hierzu eignen sich die Aufgaben 12 und 14 (LB, S. 164).

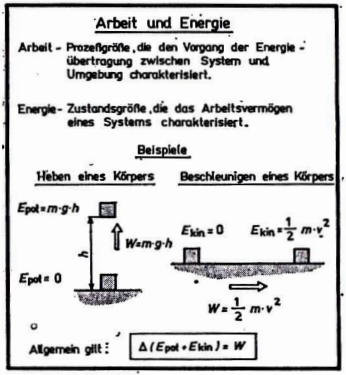
Gut zur Festigung eignet sich auch folgende Aufgabe:
Eine Kiste ($m = 90$ kg) rutscht eine 2 m lange geneigte Ebene ($\alpha = 30°$) hinunter. Der Reibungskoeffizient beträgt 0,4.

a) Wie groß ist die verrichtete Reibungsarbeit?

b) Ermitteln Sie unter Nutzung der Arbeit-Energie-Beziehung die Geschwindigkeit der Kiste am Ende der geneigten Ebene! Ihre Anfangsgeschwindigkeit war null.

Tafelbild

Bild 25/1



a
b

5. Stunde: Systematisierung des Arbeitsbegriffs

Stundenziele

Die Schüler
- kennen die Definitionsgleichungen für die mechanische Arbeit, wenn die Kraft in Richtung des Weges und unter beliebigem Winkel dazu angreift;
- wissen, daß man den Betrag der Arbeit aus einem F-s-Diagramm ermitteln kann;
- verstehen die Erweiterung des Arbeitsbegriffes auf die Fälle
  - konstante Kraft wirkt nicht in Wegrichtung und
  - nicht konstante Kraft wirkt in Wegrichtung;
- können die Arbeit bei gegebenen Sachverhalten berechnen beziehungsweise aus einem F-s-Diagramm ermitteln.

Unterrichtsmittel

Polylux,
Folie

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Arbeit bei konstanter Kraft in Richtung des Weges (W) **10 min**	Wiederholen der Arbeit-Energie-Beziehung (UG, K) Wiederholen der Gleichung $W = F \cdot s$ und Erörtern der Bedingungen, unter denen sie anwendbar ist (UG)
Wirkt auf einen Körper eine konstante Kraft in Richtung des Weges, so ist die an diesem Körper verrichtete Arbeit von der angreifenden Kraft und vom zurückgelegten Weg abhängig.	
(2) Arbeit bei konstanter, unter einem beliebigen Winkel zum Weg angreifender Kraft (W, S) **20 min**	Diskutieren eines Beispiels, Herleiten der Gleichung $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ (UG, FO) Erörtern des Betrages der Arbeit bei verschiedenen Winkeln (SSA, FO) Herstellen von Verbindungen zur Arbeit-Energie-Beziehung (UG)
Wirkt auf einen Körper eine konstante Kraft unter einem beliebigen Winkel zur Richtung des Weges, so ist die an diesem Körper verrichtete Arbeit von der angreifenden Kraft, dem Winkel zwischen Kraft und Weg sowie dem zurückgelegten Weg abhängig.	
(3) Arbeit bei nicht konstanter, in Richtung des Weges angreifender Kraft (W, S) **15 min**	Nennen von Beispielen für diesen Fall (UG) Ermitteln des Betrages der Arbeit beim Spannen einer Feder (UG) Hinweisen auf Möglichkeiten der Bestimmung der Arbeit in beliebigen Fällen (LV)
Wirkt auf einen Körper eine nicht konstante Kraft längs eines Weges, so kann der Betrag der Arbeit aus einem F-s-Diagramm ermittelt werden.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Die Schüler sollen in dieser Stunde erkennen, in welcher Weise eine Erweiterung des Begriffs Arbeit erfolgt. Der Systembegriff bleibt dabei weitgehend im Hintergrund.

(1) Am Beginn der Stunde erfolgt eine Wiederholung der Arbeit-Energie-Beziehung. Diese kann z. B. so erfolgen, daß den Schülern ein Beispiel vorgegeben wird und sie die Aufgabe erhalten, anhand dieses Beispiels die Arbeit-Energie-Beziehung zu erläutern. Die Wiederholung kann mit einer mündlichen Leistungskontrolle verbunden werden.
Anschließend werden die Gleichung $W = F \cdot s$ zur Berechnung der mechanischen Arbeit wiederholt und insbesondere die Bedingungen betont, unter denen diese Gleichung anwendbar ist (siehe Vorschlag für Folie, 1. Zeile). Schon an dieser Stelle ist auf die Möglichkeit der Bestimmung der Arbeit aus einem F-s-Diagramm aufmerksam zu machen. Anhand einiger Beispiele (Ziehen eines Handwagens, Spannen einer Feder u. a.) kann den Schülern gezeigt werden, daß in vielen Fällen die genannten Bedingungen nicht erfüllt sind, es also notwendig ist, den Begriff der Arbeit zu erweitern.

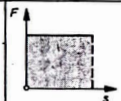
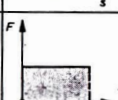
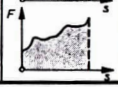
(2) Als eine erste Erweiterung wird nun der Fall in den Mittelpunkt gestellt, bei dem die Kraft zwar konstant ist, aber unter einem beliebigen Winkel zur Weg-

richtung angreift. An einem Beispiel (vgl. FO) wird herausgearbeitet, daß für die Arbeit nur die in Richtung des Weges wirkende Komponente der Kraft von Interesse ist. Aus dieser Betrachtung kann die Gleichung $W = F \cdot s \cdot \cos\alpha$ hergeleitet werden. Die zweite Zeile der Folie (siehe Vorschlag) wird aufgedeckt. Es ist zweckmäßig, anschließend die Arbeit bei verschiedenen Winkeln α zu betrachten. Bei $\alpha = 0$ ergibt sich als Spezialfall die den Schülern bereits bekannte Beziehung $W = F \cdot s$. Bei $\alpha = 90°$ ist die verrichtete Arbeit null. Hier sollte der Lehrer auf solche Fälle aufmerksam machen, wo zwar ein Körper bewegt wird, die verrichtete Arbeit aber näherungsweise null ist (Tragen einer Tasche, Schwenken eines an einem Kranhaken hängenden Körpers).
Bei $\alpha = 180°$ ergibt sich $W = -F \cdot s$, also z. B. die Arbeit bei einem Abbremsvorgang. Bei diesem Fall wird auch die Zweckmäßigkeit der Festlegung deutlich, die Arbeit bei Verringerung der mechanischen Energie mit einem negativen Vorzeichen zu versehen.

(3) Eine zweite Erweiterung des Arbeitsbegriffs ergibt sich, wenn die Kraft nicht konstant ist, aber in Richtung des Weges angreift. Die Schüler sind darauf aufmerksam zu machen, daß dieser Fall sowohl im täglichen Leben als auch in der Technik wesentlich häufiger auftritt als die anderen beiden Fälle (beispielsweise bei Anfahr- und Bremsvorgängen von Kraftfahrzeugen, beim Betätigen einer Luftpumpe, beim Abfeuern eines Geschosses, beim Abspringen eines Hochspringers).
Als besonders einfacher und quantitativ beschreibbarer Fall wird die Arbeit beim Spannen einer Schraubenfeder betrachtet. Die Gleichung zu ihrer Berechnung kann aus dem F-s-Diagramm hergeleitet werden.
An dieser Stelle sind die Schüler darauf hinzuweisen, daß aus einem Diagramm nicht nur die auf den Achsen aufgetragenen Größen abgelesen werden können.
In einem F-s-Diagramm beispielsweise erscheint die verrichtete Arbeit als Fläche.
Daraus ergibt sich die Möglichkeit, bei beliebigen F-s-Zusammenhängen die Arbeit zu bestimmen. Sie kann bei gegebenem F-s-Diagramm durch Auszählen der Fläche ermittelt werden.

Folie
Bild 27/1

Systematisierung des Arbeitsbegriffs

Bedingungen	Gleichung zur Berechnung der Arbeit	Grafische Darstellung	Beispiele
F = konstant $\measuredangle(F, s) = 0$	$W = F \cdot s$		Gleichförmiges Heben eines Körpers
F = konstant $\measuredangle(F, s) \neq 0$	$W = F \cdot s \cdot \cos\alpha$		Ziehen eines Wagens
$F \neq$ konstant $\measuredangle(F, s) = 0$	$W = \frac{1}{2} F_E \cdot s$ $W = \frac{1}{2} k \cdot s^2$ (Auszählen der Fläche)	 	Spannen einer Feder Betätigen einer Luftpumpe Abfeuern eines Geschosses

Die Integralrechnung steht noch nicht zur Verfügung. Es sollte aber der Hinweis erfolgen, daß man durch Aufteilung des Weges in sehr kleine Δs_i und Summieren der Produkte $F_i \cdot \Delta s_i$ ebenfalls die Arbeit bestimmen kann, die dafür notwendigen mathematischen Kenntnisse aber noch nicht zur Verfügung stehen. Anhand der vorbereiteten Projektionsfolie kann eine Gesamtzusammenfassung erfolgen.
Als Hausaufgabe bereiten die Schüler auf der Grundlage der Fragen 1 bis 4 (LB, S. 19) einen Kurzvortrag vor.

6. Stunde: Bestimmen der Arbeit

Stundenziele

Die Schüler

- können die mechanische Arbeit bei konstanter und bei nicht konstanter Kraft berechnen beziehungsweise aus Diagrammen ermitteln;
- sind in der Lage, bei gegebenen Sachverhalten Aussagen über die verrichtete Arbeit und die Änderung der Energie eines Körpers (Systems) zu treffen.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Möglichkeiten der Bestimmung der mechanischen Arbeit (W) **10 min**	Wiederholen der Möglichkeiten zur Bestimmung der mechanischen Arbeit in Abhängigkeit von den gegebenen Bedingungen (SV, K)
Die mechanische Arbeit kann mit Hilfe der Gleichungen $W = F \cdot s$, $W = F \cdot s \cdot \cos\alpha$ oder $W = \frac{1}{2} F_E \cdot s$ berechnet oder aus einem F-s-Diagramm ermittelt werden. Bei der Anwendung der Gleichungen sind ihre Gültigkeitsbedingungen zu beachten.	
(2) Bestimmung der Arbeit in unterschiedlichen Fällen (Fst) **35 min**	Lösen von Aufgaben zur mechanischen Arbeit (SSA) Erörtern der Arbeit-Energie-Beziehung bei ausgewählten Aufgaben (UG)
Bei Vergrößerung der mechanischen Energie eines Körpers (Systems) wird die Arbeit mit einem positiven, bei Verkleinerung der mechanischen Energie des Körpers (Systems) mit einem negativen Vorzeichen versehen.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Zu Beginn der Stunde hält ein Schüler den als HA vorbereiteten Kurzvortrag. In der anschließenden Diskussion ist auf das deutliche Formulieren von zwei Aussagen besonderer Wert zu legen. Erstens gibt es zwei Möglichkeiten der Bestimmung der Arbeit (rechnerisch, grafisch). Die Zweckmäßigkeit beziehungsweise Notwendigkeit der Anwendung der einen oder der anderen Möglichkeit hängt vom

gegebenen Sachverhalt ab. Zweitens sind bei der Berechnung der Arbeit die gegebenen Bedingungen zu beachten und davon ausgehend die entsprechende Gleichung auszuwählen. Insgesamt muß also vor der Lösung einer Aufgabe zur Bestimmung der mechanischen Arbeit eine gründliche Analyse des gegebenen Sachverhalts stehen.

(2) Den Hauptteil der Stunde nimmt das Lösen von Aufgaben zur mechanischen Arbeit ein (LB, S. 164, Aufg. 15, 16).
Besonderer Wert ist darauf zu legen, daß
- der gegebene Sachverhalt analysiert wird;
- die Wahl der Möglichkeit zur Bestimmung der mechanischen Arbeit durch die Schüler begründet wird und
- der Zusammenhang zwischen Arbeit und Änderung der Energie jeweils diskutiert und dabei deutlich zwischen Vergrößerung der Energie (positive Arbeit) und Verringerung der Energie (negative Arbeit) unterschieden wird.

Es kann auch eine komplexere Aufgabe gelöst und umfassend diskutiert werden. Beispiele für eine solche Aufgabe:
Ein Pkw ($m = 1$ t) wird aus dem Stand gleichmäßig beschleunigt und erreicht nach 12 s die Geschwindigkeit 54 km $\cdot$ h^{-1}. Mit dieser Geschwindigkeit fährt er 1 min lang weiter und muß dann plötzlich bis zum Stand abgebremst werden. Die Bremskraft wird als konstant angenommen. Die Bremsstrecke beträgt 20 m.
a) Wie groß ist die Beschleunigungsarbeit beim Anfahren des Pkw?
b) Wie groß ist der Reibungskoeffizient bei der Bremsstrecke?
c) Wie verändert sich die mechanische Energie des Pkw während des gesamten beschriebenen Vorganges?
d) Zeichnen Sie das F-s-Diagramm für den gesamten Vorgang!
Als Hausaufgabe können in Vorbereitung der darauffolgenden Stunde die Aufgaben 11 und 17 (LB, S. 164) gestellt werden.
Für die zweite Stunde der Stoffeinheit „Kraftstoß, Impuls und Impulserhaltungssatz" ist ein Schülervortrag zum Thema „Einsatz von Raketen im zivilen und militärischen Bereich" vorgesehen. Er ist rechtzeitig zu vergeben. Schwerpunkte des Vortrages sind:
- Einsatzmöglichkeiten von Raketen im zivilen und militärischen Bereich;
- Einteilung von Raketenwaffen;
- Nutzung wissenschaftlich-technischer Errungenschaften in Abhängigkeit von den gesellschaftlichen Verhältnissen.

Grundlagen für die Vorbereitung des Vortrages sind das Lehrbuch sowie aktuelle Veröffentlichungen in Zeitungen und Zeitschriften. Gegebenenfalls sollte vom Lehrer Material bereitgestellt werden.

7. Stunde: Potentielle Energie

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß potentielle Energie das Arbeitsvermögen eines Körpers (Systems) auf Grund seiner Lage in speziellen Kraftfeldern oder seiner elastischen Verformung ist;
- kennen die Gleichungen zur Berechnung der potentiellen Energie eines Körpers im Gravitationsfeld der Erde und einer gespannten Schraubenfeder;

– können den Zusammenhang zwischen der Änderung der potentiellen Energie eines Körpers (Systems) und der an dem Körper (System) verrichteten Arbeit an Beispielen erläutern.

Unterrichtsmittel

PSV 1/2, V 4.4.6.	Umlenkrolle
PSV 1/2, V 5.2.4.	Gefäß mit Sand
Schraubenfeder	Holzstab (∅ 20 mm)
Hakenkörper	Polylux, Folie
Rundfuß	

Stundenverlauf

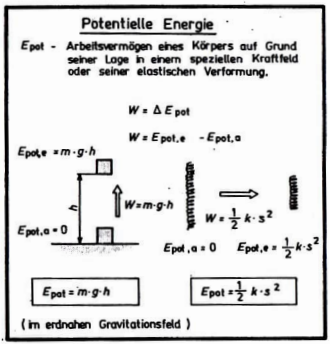
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Begriff potentielle Energie, Formen potentieller Energie (W) **15 min**	HA (K) Wiederholen des Zusammenhangs zwischen Arbeit und Energie (UG) Demonstrieren und Analysieren von Experimenten zum Arbeitsvermögen von Körpern mit potentieller Energie (DE, UG, TB 31/1 a)
Potentielle Energie eines Körpers (Systems) ist das Arbeitsvermögen dieses Körpers (Systems) auf Grund seiner Lage in einem speziellen Kraftfeld oder seiner elastischen Verformung.	
(2) Potentielle Energie eines Körpers im Gravitationsfeld der Erde und einer gespannten Schraubenfeder (W) **15 min**	Anwenden der Arbeit-Energie-Beziehung beim Heben eines Körpers im Gravitationsfeld der Erde und beim Spannen einer Feder (UG, TB 31/1 b) Erörtern weiterer Beispiele (SSA, UG)
Im erdnahen Gravitationsfeld ist die potentielle Energie von der Masse und der Höhe des Körpers über einem gewählten Bezugsniveau abhängig. Wird die potentielle Energie auf dem Bezugsniveau mit null festgelegt, dann gilt: $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$. Die potentielle Energie einer Schraubenfeder ist von den elastischen Eigenschaften der Feder und der Größe der Deformation abhängig. Es gilt: $E_{pot} = \frac{1}{2} k \cdot s^2$.	
(3) Systematisierung der Zusammenhänge zwischen Arbeit und Energie **15 min**	Zusammenstellen einer Übersicht über die Zusammenhänge zwischen Arbeit und Energie (UG) Darstellen der Zusammenhänge an einem Beispiel (UG, SSA)
Wird an einem Körper (System) Arbeit verrichtet, so ändert sich die mechanische Energie dieses Körpers (Systems). Beschleunigungsarbeit führt zur Änderung der kinetischen Energie, Hubarbeit und Federspannarbeit zur Änderung der potentiellen Energie. Reibungsarbeit verringert die mechanische Gesamtenergie eines Systems.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Um das Erkenntnisinteresse zu wecken, wird die Aufmerksamkeit der Schüler auf die Frage gelenkt, wann ein Körper potentielle Energie hat. Dabei muß der Lehrer beachten, daß eine umfassende Beantwortung dieser Frage kompliziert und nicht Anliegen des Physikunterrichts ist. Die Schüler sollen das Wesen des Begriffs potentielle Energie erfassen und erkennen, daß es verschiedene Formen der potentiellen Energie gibt.
Unter Hinweis auf die Arbeit-Energie-Beziehung wird herausgearbeitet, daß ein Körper (ein System) im einfachsten Falle dann potentielle Energie besitzt, wenn er im ruhenden Zustand über ein Arbeitsvermögen verfügt. Mit Hilfe einfacher Experimente (PSV 1/2, V 5.2.4. oder V 4.4.6., Dehnen einer Schraubenfeder mit der Hand und danach Anhängen eines Hakenkörpers — am Hakenkörper wird Hubarbeit verrichtet) wird das Arbeitsvermögen einer gespannten Feder demonstriert und von den Schülern bezüglich Energie und Arbeit analysiert. Entsprechend wird bei einem Körper, der sich im Gravitationsfeld der Erde befindet, vorgegangen (Modell einer Ramme). Die Schüler erkennen, daß es verschiedene Formen potentieller Energie gibt. In jedem Falle aber vergrößert sich beim Verrichten von Arbeit am System die potentielle Energie. Verkleinerung der potentiellen Energie dagegen ist mit dem Verrichten von Arbeit durch das System verbunden. Es sollten hier auch solche Formulierungen gebraucht werden wie: Die potentielle Energie eines Körpers (Systems) vergrößert sich, wenn Arbeit gegen eine Gravitationskraft oder gegen eine elastische Kraft verrichtet wird. Sie verringert sich, wenn Arbeit einer Gravitationskraft oder einer elastischen Kraft verrichtet wird.

(2) Bei der Ableitung der Gleichungen für die potentielle Energie eines Körpers im Gravitationsfeld der Erde und einer gespannten Schraubenfeder (siehe TB) sollte das Vorgehen wie im Lehrbuch (S. 22, 23) gewählt werden. Besonderer Wert ist darauf zu legen, den Schülern die Notwendigkeit der Festlegung eines Zustandes des Körpers (Systems) mit $E_{pot} = 0$ bewußt zu machen. Die potentielle Energie ist somit keine absolute, sondern eine relative Größe. Die Wahl des Zustandes mit $E_{pot} = 0$ ist willkürlich.
Anschließend arbeiten die Schüler die Anwendungsbeispiele (LB, S. 24) durch und können hierzu noch Fragen stellen (weil Gegenstand einer Hausaufgabe).

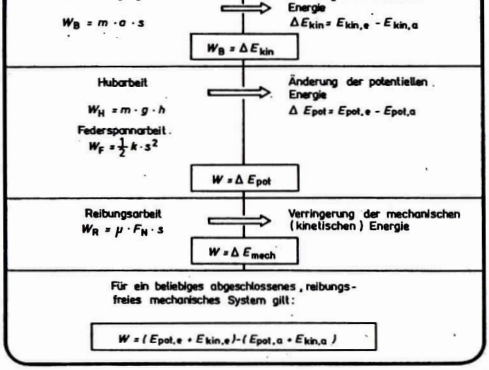
Tafelbild
Bild 31/1



a
b

(3) Im letzten Teil der Stunde erfolgt eine Systematisierung des Wissens der Schüler über die Zusammenhänge zwischen Arbeit und Energie (FO, Bild 32/1). Insbesondere ist herauszuarbeiten, daß Beschleunigungsarbeit zur Änderung der kinetischen Energie, Hubarbeit und Federspannarbeit zur Änderung der potentiellen Energie und Reibungsarbeit unumkehrbar zur Verringerung der mechanischen Gesamtenergie des Systems führt.
Am Beispiel des Fadenpendels erläutern die Schüler verschiedene Zusammenhänge. Als Hausaufgabe werden Kurzvorträge (SV) zu den Anwendungsbeispielen (LB, S. 24) aufgegeben unter Nutzung der verschiedenen Problemfragen.

Folie
Bild 32/1



8. Stunde: Energieerhaltungssatz der Mechanik und seine Anwendung

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den Energieerhaltungssatz der Mechanik;
- können Energiebilanzen aufstellen und Aufgaben zur Bestimmung von Größen lösen, die an der Energiebilanz beteiligt sind;
- können für einfache Sachverhalte Gesetze aus dem Energieerhaltungssatz ableiten;
- erkennen die Bedeutung dieses Erhaltungssatzes für die Beschreibung physikalischer Erscheinungen.

Unterrichtsmittel

Schraubenfeder
Hakenkörper

Stundenverlauf

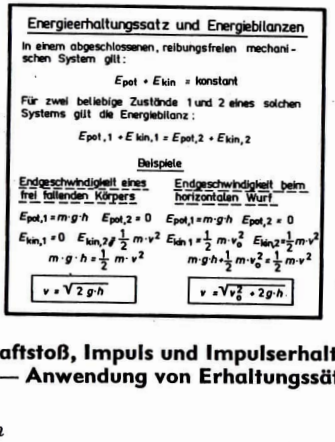
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Energieerhaltungssatz und Energiebilanz für ein abgeschlossenes, reibungsfreies mechanisches System (Fst) **10 min**	HA (SV, K) Wiederholen des Energieerhaltungssatzes der Mechanik. Aufstellen einer Energiebilanz für den allgemeinen Fall (UG) Erläutern der Energiebilanz bei einem Federschwinger (DE, SSA, TB 34/1 a)
In einem abgeschlossenen, reibungsfreien mechanischen System bleibt die mechanische Gesamtenergie erhalten. Für zwei beliebige Zustände 1 und 2 des Systems gilt $E_{pot,1} + E_{kin,1} = E_{pot,2} + E_{kin,2}$.	
(2) Aufstellen von Energiebilanzen, Leistungskontrolle (Fst) **35 min**	Anwenden des Energieerhaltungssatzes der Mechanik beim Herleiten von speziellen Gesetzen (UG, SSA, TB 34/1 b)Lösen von Aufgaben (SSA)

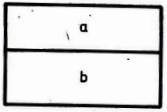
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die Leistungskontrolle bei den Schülervorträgen (HA) wird zur Einstimmung auf die Anwendung des Energieerhaltungssatzes der Mechanik benutzt. Nach der Wiederholung des grundlegenden Erfahrungssatzes wird gemeinsam mit den Schülern eine allgemeine Energiebilanz (siehe TB 34/1a) aufgestellt. Dabei ist besonders zu betonen, daß diese Energiebilanz unter der Voraussetzung eines abgeschlossenen, reibungsfreien mechanischen Systems für zwei **beliebige** Zustände dieses Systems gilt. Es sollte darauf hingewiesen werden, daß es solche Systeme in Natur und Technik nur näherungsweise gibt. Anschließend wird am Beispiel eines Federschwingers von den Schülern die Gesamtenergie bei verschiedenen Zuständen analysiert und damit die vorher getroffenen Aussagen gefestigt.

(2) Einen tieferen Einblick in die Bedeutung des Energieerhaltungssatzes erhalten die Schüler dadurch, daß sie durch seine Anwendung auf einfache Sachverhalte zu speziellen Gesetzen gelangen. Dabei kommt es nicht darauf an, möglichst viele spezielle Gesetze abzuleiten. Vielmehr sollte in Abhängigkeit von der Klassensituation die Auswahl von zwei bis drei Beispielen und deren gründliche Analyse erfolgen (siehe TB 34/1b). Im LB, S. 27 sind mehrere Beispiele dargestellt, aus denen der Lehrer auswählen kann.
Der letzte Teil der Stunde kann in verschiedener Weise genutzt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, weitere Aufgaben zum Energieerhaltungssatz der Mechanik zu lösen. Es ist auch möglich, in den letzten 15 Minuten der Stunde eine schriftliche Kurzkontrolle durchzuführen.

Tafelbild
Bild 34/1





Stoffeinheit Kraftstoß, Impuls und Impulserhaltungssatz. Stoßvorgänge — Anwendung von Erhaltungssätzen

9 Stunden

Vorbemerkungen

Zu Beginn dieser Stoffeinheit werden die Begriffe Kraftstoß und Impuls eingeführt. Ebenso wie bei Arbeit und Energie erfolgt hierbei eine deutliche Unterscheidung zwischen der Prozeßgröße Kraftstoß und der Zustandsgröße Impuls. Damit wird nicht nur eine präzisere Kennzeichnung des Wesens dieser physikalischen Größen erreicht, sondern zugleich eine Vorbereitung auf die Behandlung der Thermodynamik getroffen.
Der Kraftstoß wird als Produkt aus der mittleren Kraft $\overline{F}$ und der Zeitdauer ihrer Einwirkung Δt definiert. Damit wird darauf orientiert, daß bei Stoßvorgängen im allgemeinen die Kraft während der Zeitdauer der Wechselwirkung von Körpern nicht konstant ist.
Mit dem Impuls lernen die Schüler erstmals eine vektorielle Erhaltungsgröße kennen. Die Einführung dieser Größe ist sorgfältig zu motivieren. Insbesondere ist den Schülern bewußt zu machen, daß die Größe $m \cdot v$ für die Beschreibung des Bewegungszustandes von Körpern beziehungsweise Systemen zweckmäßig ist.
Der Impulserhaltungssatz wird den Schülern als grundlegender Erfahrungssatz gegeben. Schwerpunkt der Behandlung ist der Impulserhaltungssatz für ein System aus zwei Körpern. Es sollte jedoch auch ein Ausblick auf den Impulserhaltungssatz für beliebige abgeschlossene Systeme gegeben werden. Dabei ist den Schülern deutlich zu machen, daß der Impulserhaltungssatz in seinem Allgemeinheitsgrad mit dem allgemeinen Energieerhaltungssatz vergleichbar ist.
Die mit einem so weitreichenden Erhaltungssatz verbundenen erkenntnistheoretischen Probleme sowie die mit seiner Anwendung verknüpften technischen und militärtechnischen Fragen sind hinsichtlich ihrer erzieherischen Potenzen voll auszuschöpfen. Bei der Erörterung ziviler und militärischer Einsatzmöglichkeiten von Raketen ergeben sich gute Möglichkeiten der aktiven Einbeziehung von Schülern in Form von Schülervorträgen. Die Schüler sind auch dazu anzuregen, Wertungen des Einsatzes von Raketen in Abhängigkeit von den gesellschaftlichen Verhältnissen vorzunehmen.

Im Mittelpunkt der letzten Stunden dieser Stoffeinheit steht die Anwendung des Impulserhaltungssatzes und des Energieerhaltungssatzes der Mechanik auf Stoßvorgänge. Dabei werden einerseits in der Praxis häufig auftretende Vorgänge aus physikalischer Sicht analysiert, andererseits Vorleistungen für die Behandlung der Thermodynamik (Ableitung der Grundgleichung der molekularkinetischen Gastheorie) erbracht. Schwerpunkte sind dabei nicht formale mathematische Herleitungen, sondern die Analyse von Stoßvorgängen und die Anwendung der Erhaltungssätze von Impuls und Energie auf diese. Deshalb wird beispielsweise auf die Herleitung der Gleichungen für die Geschwindigkeiten zweier Körper nach ihrer elastischen Wechselwirkung verzichtet. Diese Gleichungen werden den Schülern gegeben.
Erheblichen Raum sollte das Lösen praxisverbundener Aufgaben einnehmen. Das fördert einerseits bei den Schülern die Erkenntnis von der Bedeutsamkeit der behandelten physikalischen Begriffe und Gesetze für die Praxis und ermöglicht andererseits eine weitere Befähigung der Schüler zur schöpferischen Anwendung ihres Wissens sowie zur selbständigen Auseinandersetzung mit physikalischen und physikalisch-technischen Problemen.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel. Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. Kraftstoß und Impuls Definition von Kraftstoß und Impuls Zusammenhang zwischen Kraftstoß und Impulsänderung	Newtonsches Grundgesetz der Dynamik (Ph 9)	DE: Zusammenhang zwischen Kraftstoß und Änderung des Bewegungszustandes
2. Anwendungen zu Kraftstoß und Impuls Vertiefung des Zusammenhangs zwischen Kraftstoß und Impulsänderung Anwendungen zur Kraftstoß-Impulsänderung-Beziehung	Wechselwirkungsgesetz (Ph 9) Aggressivität des Imperialismus, Friedenspolitik der sozialistischen Staaten (Stabü)	UM in Abhängigkeit von der Vorbereitung des SV
3. Impulserhaltungssatz Impulserhaltungssatz für ein abgeschlossenes mechanisches System zweier Körper und für ein beliebiges abgeschlossenes mechanisches System		DE: Bestätigung des Impulserhaltungssatzes (PSV 1/2, V 5.2.3., V 5.2.4.)

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel. Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
4. **Anwendungen zum Impulserhaltungssatz** Rückstoß bei Handfeuerwaffen und beim Geschütz Prinzip der Raketenbewegung Festigung, Leistungskontrolle		
5. **Unelastischer Stoß** Einteilung von Stoßvorgängen Quantitative Beschreibung des unelastischen Stoßes Lösen von Aufgaben	Energieerhaltungssatz der Mechanik (Ph 9)	DE: Zeigen verschiedener Arten von Stößen (PSV 1/2, V 5.2.7.) WiPh, S. 120
6. **Elastischer Stoß** Gegenüberstellung elastischer Stoß — unelastischer Stoß Quantitative Beschreibung des elastischen Stoßes	Energieerhaltungssatz der Mechanik (Ph 9)	DE: Demonstration elastischer Stöße (PSV 1/2, S 5.2.7.) WiPh, S. 120
7. **Spezialfälle des elastischen Stoßes** Ableitung und Diskussion von Spezialfällen des elastischen Stoßes Elastischer Stoß einer Kugel gegen eine Wand	Wechselwirkungsgesetz (Ph 9)	DE: Elastische Stöße zwischen zwei Körpern Druck eines Gases als Stoß der Moleküle gegen die Wand eines Gefäßes (Modellexperiment)
8. **Festigungsstunde** Systematisierung einiger physikalischer Größen Lösen von Aufgaben		Polylux, Folie zur Systematisierung der physikalischen Größen Arbeit, Energie, Kraftstoß und Impuls
9. Kontrollstunde		

1. Stunde: Kraftstoß und Impuls

Stundenziele

Die Schüler

- erfassen den Kraftstoß als Prozeßgröße und den Impuls als Zustandsgröße;
- wissen, daß der Kraftstoß gleich dem Produkt aus der mittleren Kraft und der Zeitdauer ihres Angreifens ist;

— wissen, daß der Impuls eines Körpers gleich dem Produkt aus seiner Masse und seiner Geschwindigkeit ist;
— kennen den Zusammenhang zwischen Kraftstoß und der Änderung des Impulses eines Körpers.

Unterrichtsmittel

Kleiner Wagen
Kugel, kleiner Hammer
Hakenkörper, Faden

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Einführung des Begriffes Kraftstoß (E) **10 min**	DE zu Kraftstoß und Impuls und Analysieren dieser Experimente (DE, UG, TB 39/1 a) Herausarbeiten qualitativer Merkmale des Begriffes Kraftstoß (UG)
Greift an einem Körper eine bestimmte Zeit lang eine Kraft an, so sagt man, es wirkt ein Kraftstoß. Ein solcher Kraftstoß führt zur Änderung des Bewegungszustandes der beteiligten Körper.	
(2) Definition der Größen Kraftstoß und Impuls (E) **20 min**	Herleiten des Zusammenhangs zwischen Kraftstoß und Impuls aus dem Newtonschen Grundgesetz (UG, TB 39/1 b) Definieren der Größen Kraftstoß und Impuls (LV, TB 39/1 c)
Der Kraftstoß ist als Produkt aus Kraft und Zeitdauer ihrer Einwirkung definiert: $S = \bar{F} \cdot \Delta t$. Die durch ihn hervorgerufene Änderung des Bewegungszustandes eines Körpers wird durch das Produkt aus seiner Masse und seiner Geschwindigkeitsänderung gekennzeichnet. Es gilt: $\bar{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$. Die Größe $p = m \cdot v$ heißt Impuls, sie kennzeichnet einen Zustand. Kraftstoß und Impuls sind vektorielle Größen.	
(3) Anwendung der Definitionsgleichung von Kraftstoß und Impuls (Fst) **15 min**	Lösen von Aufgaben (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

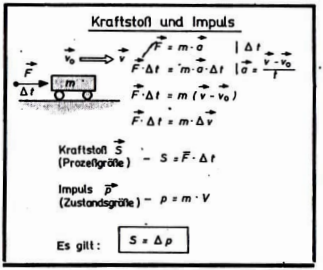
(1) Zur Einführung wird das im Lehrbuch (S. 28) erläuterte Ankopplungsmanöver von Sojus/Salut diskutiert, die Problemstellung, Hypothesebildung und Lösungswegsuche im Lehrtext aufgegriffen und in einem Experiment demonstriert (Anstoßen einer Kugel in verschiedenen Richtungen, Anschieben eines Wagens, Anstoßen eines an einem Faden hängenden Hakenkörpers o. ä.). Die Schüler erhalten die Aufgabe, die Zustände und Zustandsänderungen mit Hilfe der Begriffe Kraft, Zeit und Geschwindigkeit zu beschreiben. Im UG ergibt sich: Bei (zeitlich begrenztem) Wirken einer Kraft auf einen Körper (Kraftstoß) ändert sich dessen

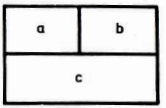
Bewegungszustand. Aus den DE wird deutlich, daß ein solcher Kraftstoß einen Prozeß kennzeichnet.
Abschließend werden die Schüler aufgefordert, weitere Beispiele für eine zeitlich begrenzte beziehungsweise kurzzeitige Einwirkung einer Kraft auf einen Körper zu nennen und zu erläutern (Abschießen eines Pfeils, Treten gegen einen Ball, Abfeuern eines Geschosses, Kugelstoßen, Schlag auf den Schütz im Webstuhl, Stoß der Zähne eines antreibenden Zahnrades auf die Zähne des angetriebenen Zahnrades usw.).
Die Schüler erkennen, daß Kraftstöße in vielen Bereichen eine Rolle spielen. Es ist schon an dieser Stelle der Hinweis angebracht, daß im allgemeinen die dabei wirkenden Kräfte nicht konstant und meist auch nicht elementar beschreibbar sind.

(2) Es wird die Zielstellung formuliert, die Zusammenhänge zwischen angreifender Kraft, Zeitdauer ihrer Einwirkung und Bewegungszustand quantitativ zu untersuchen. Dazu wird als spezieller Fall der des Wirkens einer konstanten Kraft F auf einen Körper der Masse m betrachtet. Ausgehend vom Newtonschen Grundgesetz der Mechanik wird gemeinsam mit den Schülern die Beziehung $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$ hergeleitet. Besonderer Wert ist dabei auf eine verbale Formulierung des Inhalts dieser Gleichung zu legen (etwa: Die zeitlich begrenzte Einwirkung einer Kraft auf einen Körper ruft eine Änderung der Geschwindigkeit dieses Körpers hervor. Die Geschwindigkeitsänderung des Körpers ist von seiner Masse, der angreifenden Kraft und der Zeitdauer ihrer Einwirkung abhängig.
Den Schülern wird mitgeteilt, daß man die Größe $S = \bar{F} \cdot \Delta t$ als Kraftstoß definiert. Die Wahl der mittleren Kraft $\bar{F}$ wird damit begründet, daß im allgemeinen die Kraft während Stoßvorgängen nicht konstant und nicht elementar beschreibbar ist. Im weiteren kann unter Bezugnahme auf das an der Tafel skizzierte Beispiel und die hergeleitete Gleichung (siehe TB 39/1a, b) folgender Gedankengang entwickelt werden: Der Kraftstoß S ist gleich der Änderung der Größe $m \cdot v$. Diese Größe ist offensichtlich gut dazu geeignet, den Zustand eines Körpers vor beziehungsweise nach der Einwirkung von Kraftstößen zu beschreiben. Es hat sich daher als zweckmäßig erwiesen, das Produkt $m \cdot v$ als neue physikalische Größe einzuführen. Man nennt sie Impuls p.
Die Zweckmäßigkeit ihrer Einführung zeigt sich schon an sehr einfachen Beispielen. Beim Treten gegen einen Ball ist die auf den Ball wirkende Kraft nicht konstant und mathematisch nicht beschreibbar, die Zeitdauer des Stoßes kaum meßbar. Es ist aber nicht schwierig, das dem Kraftstoß gleiche Produkt $m \cdot v$ zu bestimmen. Ähnlich ist die Situation bei den meisten Stoßvorgängen. Es kann auch darauf hingewiesen werden, daß die Schüler damit drei physikalische Größen kennen, die jeweils in spezifischer Weise die Bewegung eines Körpers kennzeichnen. Die Geschwindigkeit gibt den Betrag und die Richtung der Bewegung eines Körpers an, beinhaltet aber keine Aussage über den Körper selbst. Bei der kinetischen Energie sind die Masse und der Betrag der Geschwindigkeit eines Körpers verknüpft, jedoch ist keine Information über die Richtung der Bewegung enthalten. Der Impuls beinhaltet die Masse, den Betrag und die Richtung der Geschwindigkeit eines Körpers. Abschließend wird der Zusammenhang zwischen Kraftstoß und Impuls noch einmal an einem Beispiel (Kraftstoß auf eine Kugel oder einen Ball) von den Schülern erläutert und besonders auf die Übereinstimmung der Richtungen von $\vec{S}$ und $\Delta\vec{p}$ hingewiesen. Eine Festigung dazu erfolgt in der darauffolgenden Stunde.
(3) Im letzten Teil der Stunde werden zur Festigung einige Aufgaben gelöst, wobei die selbständige Schülerarbeit im Vordergrund steht. Aufgaben kann der Lehrer dem LB, S. 31, entnehmen. Für die folgende Stunde ist ein Schülervortrag zum

Thema „Einsatz von Raketen im zivilen und militärischen Bereich" vorgesehen. Die Vorbereitung dieses längerfristig vergebenen Vortrags (siehe 6. Stunde des Stoffgebietes Mechanik) ist zu überprüfen.

Tafelbild
Bild 39/1





2. Stunde: Anwendung zu Kraftstoß und Impuls

Stundenziele

Der Schüler

- vertiefen ihr Wissen über den Zusammenhang zwischen Kraftstoß und Impulsänderung;
- können unter Nutzung des Zusammenhangs zwischen Kraftstoß und Impulsänderung Aufgaben lösen, insbesondere für einen vereinfachten Fall die Schubkraft von reaktiven Triebwerken berechnen;
- erhalten einen Einblick in die Nutzung von Raketen im zivilen und militärischen Bereich und werten diese unter Beachtung der gesellschaftlichen Verhältnisse.

Unterrichtsmittel

(in Abhängigkeit von der Vorbereitung des Schülervortrages)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Vertiefung des Zusammenhangs zwischen Kraftstoß und Impulsänderung (Fst) **15 min**	Erläutern des Zusammenhangs zwischen Kraftstoß und Impulsänderung an einem Beispiel (UG) Interpretieren des Terms $\Delta\vec{p}$ als $\Delta(m \cdot \vec{v})$ (UG, TB 41/1a) Erörtern der Richtung von Kraftstoß, Impulsänderung und Impuls in verschiedenen Fällen (UG)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Der Term Δp bzw. $\Delta(m \cdot v)$ beinhaltet eine Änderung des Impulses durch Änderung der Geschwindigkeit des betrachteten Objekts oder durch Änderung seiner Masse oder durch Änderung beider Größen. Die Richtung des Kraftstoßes auf einen Körper und die Richtung seiner Impulsänderung stimmen überein, müssen aber nicht mit der Richtung des Impulses des Körpers zusammenfallen.	
(2) Anwendung der Kraftstoß-Impulsänderung-Beziehung (E, Fst) 30 min	Erläutern der Berechnung der Schubkraft eines Raketentriebwerks für einen vereinfachten Fall (UG, TB 41/1b) Informieren über den Einsatz von Raketen in verschiedenen Bereichen (SV) Werten des Einsatzes von Raketen unter Beachtung gesellschaftlicher Verhältnisse (UG) Lösen weiterer Aufgaben (SSA)
Für einen stark vereinfachten Fall läßt sich mit Hilfe der Beziehung zwischen Kraftstoß und Impulsänderung die Schubkraft eines Raketentriebwerks abschätzen.	

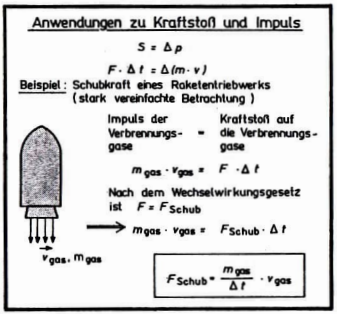
Erläuterungen zum Stundenverlauf

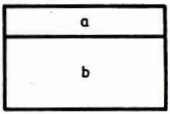
(1) Zu Beginn der Stunde erfolgt eine kurze Wiederholung. Sie kann so gestaltet werden, daß der Lehrer ein einfaches Beispiel (etwa: ein Fußballspieler tritt gegen einen auf ihn zurollenden Ball) vorgibt und die Schüler auffordert, dieses Beispiel mit Hilfe der Begriffe Impuls, Kraftstoß und Impulsänderung zu erläutern. Dabei sind die Definitionen von Kraftstoß und Impuls zu wiederholen.
Der Zusammenhang zwischen Kraftstoß und Impuls wurde bereits in der vorhergehenden Stunde angegeben und soll nun tiefergehend interpretiert werden. Zunächst wird der Term Δp in den Mittelpunkt der Betrachtungen gerückt. Bisher wurde immer der Fall betrachtet, daß sich durch einen Kraftstoß auf einen Körper sein Impuls wegen der auftretenden Geschwindigkeitsänderung verändert. Der Lehrer verallgemeinert nun die Beziehung $S = \Delta p$ dahingehend, daß ein Kraftstoß zu einer Veränderung des Produktes $m \cdot v$ führt. Diese Änderung kann durch Änderung der Geschwindigkeit oder durch Änderung der Masse oder durch Änderung beider Größen hervorgerufen werden.
Ein Beispiel für das letztere ist eine Rakete mit arbeitendem Triebwerk. Als Beispiel aus der Mikrophysik können hier Teilchen in Beschleunigern genannt werden, bei denen mit Vergrößerung der Geschwindigkeit eine merkliche Massezunahme auftritt. Auf Einzelheiten ist nicht einzugehen.
Anschließend werden die Kenntnisse über die Richtungen von Kraftstoß, Impulsänderung und Impuls gefestigt, indem die Schüler die Bilder 30/2, 30/3 und 31/1 des LB betrachten und erläutern.

(2) Als Beispiel für die Anwendung der Beziehung zwischen Kraftstoß und Impulsänderung wird die Schubkraft eines Raketentriebswerkes berechnet (LB, S. 32). Die Schüler sind darauf aufmerksam zu machen, daß es notwendig ist, zahlreiche Vereinfachungen gegenüber der Realität anzunehmen und somit mit Hilfe der hergeleiteten Gleichung nur eine relativ grobe Abschätzung der Schubkraft eines Triebwerkes möglich ist. Es ist in dieser Stunde unzweckmäßig, das Problem des Raketenantriebs in den Vordergrund zu stellen. Das sollte erst erfolgen, wenn die Schüler den Impulserhaltungssatz kennengelernt haben. Durch einen Schülervortrag werden die Schüler über den Einsatz von Raketen im zivilen Bereich informiert. Daran sollte sich eine Diskussion anschließen, in der neben der Erörte-

rung technischer und militärischer Probleme die Schüler zur Wertung des Einsatzes von Raketen in Abhängigkeit von den gesellschaftlichen Verhältnissen angeregt werden. Noch zur Verfügung stehende Zeit kann zur Lösung weiterer Aufgaben (LB, S. 165) genutzt werden. Aus diesen Aufgaben kann der Lehrer auch die HA auswählen.

Tafelbild
Bild 41/1





3. Stunde: Impulserhaltungssatz

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den Impulserhaltungssatz für ein aus zwei Körpern bestehendes abgeschlossenes mechanisches System und können ihn auf ein solches System anwenden;
- wissen, daß der Gesamtimpuls eines beliebigen abgeschlossenen mechanischen Systems konstant ist;
- können an Beispielen den Impulserhaltungssatz erläutern.

Unterrichtsmittel

PSV 1/2, V. 5.2.3.
PSV 1/2, V. 5.2.4.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Impulserhaltungssatz für ein abgeschlossenes mechanisches System aus zwei Körpern (E) **30 min**	HA (K) Wiederholen des Zusammenhangs zwischen Kraftstoß und Impuls (UG) Anwenden dieser Kenntnisse und des Wechselwirkungsgesetzes auf ein System von zwei Körpern (UG, TB 43/1 a,b) Formulieren des Impulserhaltungssatzes für ein solches System (LV, TB 43/1 c) Durchführen und Auswerten eines DE zur quantitativen Bestätigung des Impulserhaltungssatzes (DE, UG, TB 43/2)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Für ein abgeschlossenes mechanisches System zweier Körper ist der Impuls konstant. Es gilt: $m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{u}_1 + m_2 \cdot \vec{u}_2$	
(2) Impulserhaltungssatz für ein beliebiges abgeschlossenes mechanisches System (E, Fst) **15 min**	Formulieren des Impulserhaltungssatzes für ein beliebiges abgeschlossenes mechanisches System (LV) Erläutern des Impulserhaltungssatzes an Beispielen (DE, UG)
Für ein abgeschlossenes mechanisches System ist der Gesamtimpuls eine vektorielle Erhaltungsgröße.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Die Schüler lernen in dieser Stunde den Impulserhaltungssatz als einen grundlegenden Erfahrungssatz kennen. Er ist nicht aus dem Newtonschen Grundgesetz der Dynamik in der Form $F = m \cdot a$ ableitbar.
Im Unterricht wird zunächst von einem speziellen Fall zweier Körper ausgegangen, anschließend der Impulserhaltungssatz für ein (beliebiges) abgeschlossenes System zweier Körper verallgemeinert und letztendlich ein Ausblick auf ein beliebiges abgeschlossenes mechanisches System gegeben, also eine zweite Verallgemeinerung vorgenommen. Dies ist den Schülern auch bewußtzumachen.

(1) Die Schüler werden darauf aufmerksam gemacht, daß bisher meist die Wechselwirkung eines Körpers mit seiner Umgebung im Mittelpunkt der Betrachtungen stand. Von großem praktischen Interesse sind aber auch Systeme aus zwei oder mehr Körpern. Beispiele dafür sind die Systeme Rakete — Verbrennungsgase, Gewehr — Geschoß, Tischtennisschläger — Tischtennisball oder Kugel — Kugel (beim Billard). An einem solchen System aus zwei Körpern soll nun untersucht werden, wie sich der Gesamtimpuls verändert, wenn das System abgeschlossen ist, also die Summe der angreifenden äußeren Kräfte null ist und nur innere Kräfte wirken.
Im weiteren geht der Lehrer so vor, wie es im LB, S. 34, dargestellt ist. Dabei ist deutlich herauszuarbeiten, daß

- bei der Wechselwirkung der Wagen nur innere Kräfte wirken;
- die Kraftstöße der Wagen aufeinander auf Grund des Wechselwirkungsgesetzes gleich sind, aber entgegengesetzte Richtung haben und damit
- die Impulsänderungen der beiden Wagen ebenfalls gleich sind und entgegengesetzte Richtung haben.

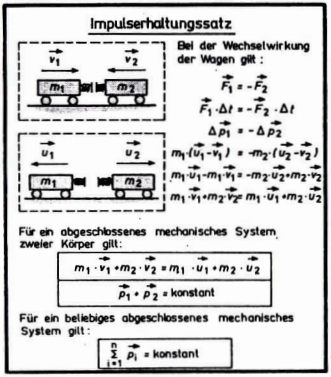
Die hergeleitete Gleichung (vgl. TB 43/1b) gilt zunächst nur für den betrachteten Fall. Es ist den Schülern mitzuteilen, daß sie für ein beliebiges abgeschlossenes mechanisches System zweier Körper gilt, also auch für solche Fälle, in denen sich die Körper nicht längs einer Geraden bewegen.
Zur Bestätigung des Impulserhaltungssatzes wird ein DE entsprechend PSV 1/2, V 5.2.4., Variante b, durchgeführt. Da im Experiment die Gleichheit der Produkte $m \cdot s$ nachgewiesen wird, muß vor seiner Durchführung die Beziehung $m_1 \cdot s_1 = m_2 \cdot s_2$ aus dem Impulserhaltungssatz hergeleitet werden (TB 43/2).

(2) Den Schülern wird mitgeteilt, daß der Impulserhaltungssatz nicht nur für ein System aus zwei Körpern, sondern für jedes beliebige abgeschlossene mechanische

System gültig ist. Es ist zu betonen, daß der Impuls ebenso wie die Energie für ein abgeschlossenes mechanisches System eine Erhaltungsgröße ist. Im Unterschied zur Energie ist er aber eine vektorielle Größe.
Im Allgemeinheitsgrad ist der Impulserhaltungssatz vergleichbar mit dem allgemeinen Energieerhaltungssatz.
Abschließend wird der Impulserhaltungssatz zur Festigung noch an einigen Beispielen erläutert. Gut eignen sich dazu auch DE entsprechend PSV 1/2, V 5.2.3. Als HA lösen die Schüler die Aufgaben 1 und 2 aus dem LB, S. 35.

Tafelbild

Bild 43/1



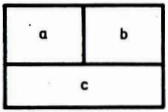
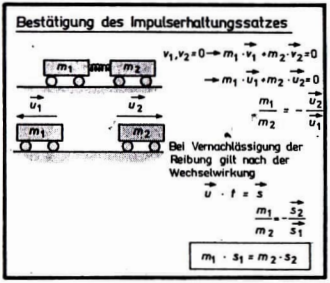


Bild 43/2



4. Stunde: Anwendung des Impulserhaltungssatzes

Stundenziele

Die Schüler
- können den Impulserhaltungssatz beim Erklären des Rückstoßes bei Handfeuerwaffen und beim Geschütz sowie des Prinzips einer Raketenbewegung anwenden;
- sind in der Lage, mit Hilfe ihrer Kenntnisse über den Kraftstoß, Impuls und Impulserhaltungssatz Aufgaben zu lösen.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Anwendungen zum Impulserhaltungssatz (Fst) 20 min	HA (K) Wiederholen des Impulserhaltungssatzes (UG) Erklären des Rückstoßes bei Handfeuerwaffen und beim Geschütz. Erklären des Prinzips des Raketenantriebs (UG, SSA, TB 45/1 a) Nennen und Erläutern weiterer Beispiele, bei denen der Impuls eine Rolle spielt (UG, TB 45/1 b)
Mit Hilfe des Impulserhaltungssatzes lassen sich der Rückstoß bei Handfeuerwaffen und Geschützen, das Prinzip des Raketenantriebs und viele andere praktisch bedeutsame Sachverhalte erklären.	
(2) Festigung durch Übung und Anwendung 25 min	Lösen von Aufgaben zum Impulserhaltungssatz (SSA) Durcharbeiten des Einführungsabschnittes im Lehrbuch S. 38 zur Vorbereitung auf einen SV zum physikalischen Wirkprinzip von Panzerabwehr-Lenkraketen als HA

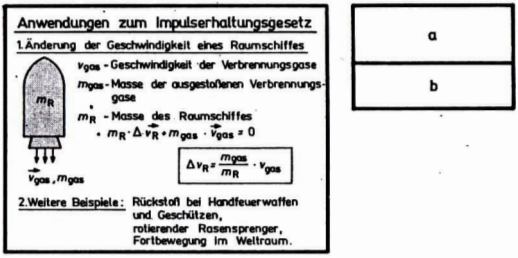
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Am Anfang der Stunde steht neben einer Kontrolle der HA die Wiederholung des Impulserhaltungssatzes. Es ist Wert darauf zu legen, daß der Inhalt dieses Erfahrungssatzes von den Schülern auch in Worten formuliert wird.
Anschließend wenden die Schüler ihr Wissen auf einige spezielle Sachverhalte (Rückstoß bei Handfeuerwaffen und Geschützen, Raketenantrieb) an. Beim Geschütz bietet es sich an, mit den Schülern auch über das sogenannte rückstoßfreie Geschütz zu sprechen. Das Prinzip des Raketenantriebs sollte an einem stark vereinfachten und damit quantitativ beschreibbaren Beispiel erörtert werden. Betrachtet wird beispielsweise ein Raumschiff, das sich auf einer Erdumlaufbahn befindet und bei dem eine Bahnkorrektur vorgenommen werden soll (vgl. TB 45/1 a). Die abgeleitete Gleichung ist zu interpretieren.
Danach werden im UG noch weitere Beispiele zusammengetragen und erläutert. Anliegen hierbei ist es, den Schülern noch einmal die große Bedeutung des Impulserhaltungssatzes für die Praxis bewußt zu machen.

(2) Der zweite Teil der Stunde kann in Abhängigkeit von der Klassensituation in verschiedener Weise genutzt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, weitere Aufgaben zum Impulserhaltungssatz zu lösen. Sie können dem LB entnommen werden (S. 165, Aufg. 4 bis 8).

Der Akzent kann auch stärker auf einer Wiederholung von Definitionen und Gesetzen liegen.
Es besteht auch die Möglichkeit, das Wissen und Können der Schüler in einer mündlichen oder schriftlichen Leistungskontrolle zu überprüfen und zu bewerten.

Tafelbild
Bild 45/1



5. Stunde: Unelastischer Stoß

Stundenziele

Die Schüler

- kennen verschiedene Arten von Stößen, können diese charakterisieren und unter vorgegebenen Gesichtspunkten systematisieren;
- wissen, daß beim unelastischen, geraden, zentralen Stoß der Impulserhaltungssatz gültig, der Energieerhaltungssatz jedoch nicht anwendbar ist;
- können den Impulserhaltungssatz auf den Fall eines unelastischen, geraden, zentralen Stoßes zweier Körper anwenden.

Unterrichtsmittel

Kugeln aus Plastilina an langen Fäden oder
2 kleine Sandsäcke an langen Fäden
Holzklotz mit Aufhängung
PSV 1/2, V 5.2.7.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Einteilung der Stoßvorgänge (E, S) **10 min**	HA(K) Beschreiben und Demonstrieren verschiedener Stoßvorgänge (UG, DE) Bewußtmachen der Bedeutung von Stoßvorgängen in der Praxis (SV) Einteilung der Stoßvorgänge (UG)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Stoßvorgänge treten in der Praxis in mannigfaltiger Weise auf. Sie lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten (elastisch — unelastisch, gerade — schief, zentral — nicht zentral) systematisieren.	
(2) Unelastischer, gerader, zentraler Stoß (E) **15 min**	Nennen und Demonstrieren von Beispielen für diese Art des Stoßes (UG, DE, TB 47/1 a) Diskutieren der Anwendbarkeit von Impulserhaltungssatz und Energieerhaltungssatz der Mechanik (UG, TB 47/1 b) Anwenden des Impulserhaltungssatzes auf den unelastischen Stoß zweier Körper (UG, TB 47/1 c)
Beim unelastischen, geraden, zentralen Stoß gilt der Impulserhaltungssatz. Der Energieerhaltungssatz der Mechanik ist nicht anwendbar. Mit Hilfe des Impulserhaltungssatzes läßt sich die gemeinsame Geschwindigkeit der wechselwirkenden Körper nach dem Stoß ermitteln.	
(3) Anwendungen zum unelastischen Stoß (Fst) **20 min**	Erörtern von Anwendungen zum unelastischen Stoß (UG, DE, TB 47/1 d) Lösen von Anwendungsaufgaben (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Zur Wiederholung wird ein Schülervortrag zum physikalischen Wirkungsprinzip einer Panzerabwehr-Lenkrakete (LB, S. 38) gehört und ausgewertet (UG, K).
Bei der Kennzeichnung des Begriffes Stoß ist herauszuarbeiten, daß bei einem Stoß zwei oder mehrere Körper kurzzeitig miteinander wechselwirken und dadurch mindestens einer der Körper seinen Bewegungszustand ändert. Auf den Unterschied zwischen dem Begriff Stoß als einem physikalischen Vorgang und dem Begriff Kraftstoß als einer physikalischen (Prozeß-)Größe sollten die Schüler hingewiesen werden. Zugleich ist aber auch deutlich zu machen, daß bei jedem Stoßvorgang Kraftstöße und Impulsänderungen auftreten. Es bietet sich hier an, den Schülern nachträglich die Zweckmäßigkeit der Einführung des Begriffes Impuls aufzuzeigen. Dazu eignet sich folgender Gedankengang: Zur Beschreibung von Stoßvorgängen ist der Kraftbegriff wenig geeignet, da der Betrag der Stoßkraft während der Wechselwirkung der Körper im allgemeinen nicht konstant und nur in wenigen Fällen angebbar ist. Die Einführung der physikalischen Größe Impuls ermöglicht dagegen die Beschreibung von Stoßvorgängen in relativ einfacher Weise.
Durch DE (PSV 1/2, V 5.2.7.) und die Analyse der genannten Beispiele kann den Schülern gezeigt werden, daß es verschiedene Arten von Stößen gibt und ihre Einteilung unter verschiedenen Gesichtspunkten möglich ist. Solche Gesichtspunkte sind die Energiebilanz bezüglich der mechanischen Energie (elastischer, unelastischer Stoß), die Bewegungsrichtung der Körper vor und nach dem Stoß (gerader, schiefer Stoß) sowie die gegenseitige Lage der Körper während der Wechselwirkung (zentraler, nicht zentraler Stoß). Die Systematisierung der Stöße sollte aber nicht überbetont werden. Wesentlich ist vor allem die Klärung der Begriffe, mit denen im weiteren gearbeitet wird (elastisch, unelastisch, gerade, zentral).
Es ist darauf hinzuweisen, daß der elastische und der unelastische Stoß Grenzfälle sind, die bei der Wechselwirkung makroskopischer Körper nur näherungsweise auftreten.

(2) Ausgehend von einigen praktischen Beispielen (Auffahrunfall, Stoßpendel u. a.) beziehungsweise DE (Stoß zweier Plastilinakugeln oder kleiner Sandsäcke) wird

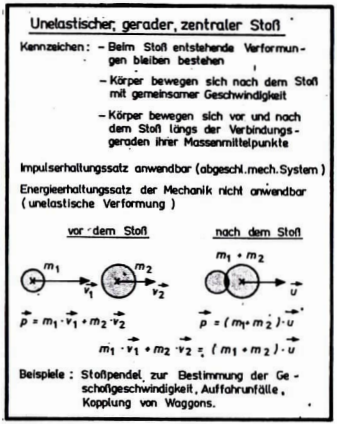
der unelastische, gerade, zentrale Stoß charakterisiert (vgl. TB). Dabei ist vor allem auf die unelastische Verformung und die gemeinsame Geschwindigkeit der wechselwirkenden Körper nach dem Stoß (sie kann im Spezialfall null sein) aufmerksam zu machen. Gemeinsam mit den Schülern ist herauszuarbeiten, daß

- jeweils ein (kräftemäßig) abgeschlossenes mechanisches System vorliegt und damit der Impulserhaltungssatz für diesen Fall anwendbar ist;
- bei der Wechselwirkung der beteiligten Körper unelastische Verformungen auftreten, also auf Kosten der mechanischen Energie Verformungsarbeit verrichtet wird, und somit die mechanische Energie vor dem Stoß immer größer ist als nach dem Stoß. Der spezielle Energieerhaltungssatz der Mechanik ist nicht anwendbar.

Aus diesen Überlegungen ergibt sich der Ansatz zur quantitativen Beschreibung des unelastischen Stoßes.

(3) Abschließend werden verschiedene Anwendungsbeispiele zum unelastischen Stoß erörtert. Schwerpunkt ist dabei die Analyse des gegebenen Sachverhalts und die Anwendung des Impulserhaltungssatzes auf diesen. Ausführlich wird das Stoßpendel zur Bestimmung der Geschwindigkeit eines Geschosses besprochen. Aus Gründen des Arbeitsschutzes ist dieses Experiment nicht durchzuführen. Zur Erläuterung ist das Lehrbuch zu verwenden (LP) oder ein analoges DE (Stoßpendel und Plastilinakugel) zu zeigen. Anregungen für weitere Anwendungsaufgaben kann der Lehrer dem Lehrbuch entnehmen (S. 165, Aufg. 1, 2, 5). Eine der Aufgaben kann als HA gestellt werden.

Tafelbild
Bild 47/1



a
b
c
d

6. Stunde: Elastischer Stoß

Stundenziele

Die Schüler

- können einen elastischen, geraden, zentralen Stoß charakterisieren;
- wissen, daß beim elastischen Stoß neben dem Impulserhaltungssatz auch der Energieerhaltungssatz der Mechanik anwendbar ist;
- können die beiden Erhaltungssätze auf den elastischen Stoß zweier Körper anwenden;
- sind in der Lage, Anwendungsaufgaben zum elastischen Stoß zu lösen.

Unterrichtsmittel

Kugelstoßapparat

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Unelastischer und elastischer, gerader, zentraler Stoß (Fst) **25 min**	HA (K) Lösen weiterer Anwendungsaufgaben zum unelastischen Stoß (SSA) Wiederholen und Gegenüberstellen der Kennzeichen des unelastischen und des elastischen Stoßes (UG, TB 49/1a) Diskutieren der Anwendbarkeit des Impulserhaltungssatzes und des Energieerhaltungssatzes der Mechanik (UG, TB 49/1b)
Beim elastischen, geraden, zentralen Stoß sind Impulserhaltungssatz und Energieerhaltungssatz der Mechanik anwendbar.	
(2) Quantitative Beschreibung des elastischen, geraden, zentralen Stoßes (E) **20 min**	Anwenden des Impulserhaltungssatzes und des Energieerhaltungssatzes auf den elastischen Stoß zweier Körper (UG, TB 49/2a) Geben der Gleichungen für die Geschwindigkeiten der wechselwirkenden Körper nach dem Stoß (LV, TB 49/2b) Lösen von Aufgaben (SSA)
Unter Anwendung des Impulserhaltungssatzes und des Energieerhaltungssatzes der Mechanik kann man den elastischen Stoß quantitativ beschreiben; insbesondere lassen sich die Geschwindigkeiten der wechselwirkenden Körper nach dem Stoß ermitteln.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Zu Beginn der Stunde werden zunächst weitere Anwendungsaufgaben zum unelastischen Stoß gelöst beziehungsweise die Lösungen der zu Hause gerechneten Aufgaben verglichen. Dabei sollten auch solche Fälle wie der der entgegengesetzten Bewegung der wechselwirkenden Körper vor dem Stoß betrachtet werden.

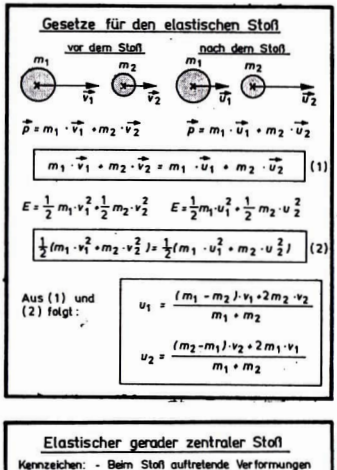
Anschließend erfolgt im UG eine Wiederholung und Gegenüberstellung der Kennzeichen eines unelastischen mit denen eines elastischen, geraden, zentralen Stoßes. Die Schüler werden darauf orientiert, daß im Mittelpunkt dieser Stunde die Behandlung des elastischen, geraden, zentralen Stoßes steht. Das Vorgehen erfolgt analog dem beim unelastischen Stoß. Zunächst wird gemeinsam mit den Schülern erörtert, ob der Impulserhaltungssatz und der Energieerhaltungssatz der Mechanik anwendbar sind. An einem gegebenen Beispiel (z. B. zwei wechselwirkende Kugeln) wird herausgearbeitet, daß

- ein (kräftemäßig) abgeschlossenes mechanisches System vorliegt, demzufolge der Impulserhaltungssatz anwendbar ist;
- bei der Wechselwirkung der beteiligten Körper nur elastische Verformung auftritt, also die kinetische Energie der wechselwirkenden Körper zum Teil oder vollständig in potentielle Energie (elastische Verformung) und diese wieder vollständig in kinetische Energie umgewandelt wird. Da ein abgeschlossenes mechanisches System vorliegt und nur Umwandlungen mechanischer Energien auftreten, ist der Energieerhaltungssatz der Mechanik anwendbar.

(2) Zur quantitativen Beschreibung des elastischen Stoßes wird von den Schülern auf einen gegebenen allgemeinen Fall der Impulserhaltungssatz und der Energie-

Tafelbild

Bild 49/1



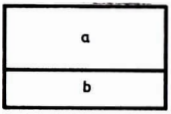
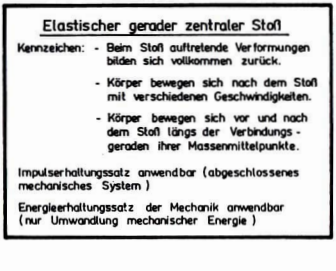
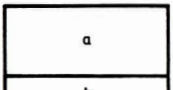


Bild 49/2





erhaltungssatz der Mechanik angewendet (vgl. TB 49/1a). Die Schüler sollten darauf hingewiesen werden, daß die Energiebilanz unabhängig von der Bewegungsrichtung der wechselwirkenden Körper aufgestellt werden kann, beim Impulserhaltungssatz jedoch die Bewegungsrichtungen der Körper wesentlich sind und bei der gewählten Schreibweise in den Vorzeichen zum Ausdruck kommen. Gleiches Vorzeichen bedeutet gleiche Bewegungsrichtung, verschiedene Vorzeichen entgegengesetzte Bewegungsrichtung. Dieser Sachverhalt sollte im allgemeinen Fall nur angedeutet werden. Ausführlicher wird bei den Spezialfällen in der nachfolgenden Stunde und beim Lösen von Aufgaben darauf eingegangen.
Die Gleichungen für die Geschwindigkeiten der wechselwirkenden Körper nach dem Stoß werden nicht hergeleitet, sondern den Schülern gegeben.
Zum Abschluß der Stunde kann eine Aufgabe gelöst werden. Diese kann der Lehrer dem Lehrbuch (Aufg. 4, 6) entnehmen.

7. Stunde: Spezialfälle des elastischen Stoßes

Stundenziele

Die Schüler

- können aus den gegebenen Gleichungen für die Geschwindigkeiten der wechselwirkenden Körper nach dem Stoß Spezialfälle ableiten und diese interpretieren, insbesondere Aussagen über die Impulsänderungen der wechselwirkenden Körper und die Energieübertragung zwischen den Körpern treffen;
- sind in der Lage, Aussagen über die Impulsänderung und den Kraftstoß bei der elastischen Wechselwirkung einer Kugel mit einer Wand zu treffen;
- können Aufgaben zum elastischen und zum unelastischen Stoß lösen.

Unterrichtsmittel

Kugelstoßapparat
Gerät für kinetische Gastheorie (Schüttelapparat)
Experimentiermotor

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Spezialfälle des elastischen Stoßes (Fst) 30 min	Anwenden der Erhaltungssätze von Impuls und Energie auf den elastischen Stoß (SSA) Ableiten von Spezialfällen, Interpretieren und experimentelles Bestätigen der abgeleiteten Beziehungen (UG, DE, TB 52/1 a, b) Lösen von Aufgaben (SSA)
Für die Praxis wesentliche Spezialfälle ergeben sich, wenn man einen Körper als ruhend annimmt und die Massen der beiden wechselwirkenden Körper variiert. In jedem Falle gelten der Impulserhaltungssatz und der Energieerhaltungssatz der Mechanik.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Elastischer Stoß einer Kugel gegen eine Wand (Fst) **15 min**	Hinweisen auf die Bedeutung dieses Stoßvorganges in der Thermodynamik (LV) Diskutieren der Beträge von Impulsänderung und Kraftstoß bei der elastischen Wechselwirkung einer Kugel mit einer Wand (DE, UG) Lösen einer Aufgabe (SSA, TB 52/2)
Beim elastischen senkrechten Stoß einer Kugel gegen eine Wand ($v_1 \neq 0$, $v_2 = 0$, $m_1 \ll m_2$) beträgt die Impulsänderung der Kugel $\Delta p = 2m_K \cdot v_K$. Sie ist gleich dem Kraftstoß, den die Wand auf die Kugel bzw. die Kugel auf die Wand ausübt.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Im Mittelpunkt dieser Stunde steht die Betrachtung einiger bedeutsamer Spezialfälle des elastischen, geraden, zentralen Stoßes. Dabei liegt der Akzent nicht auf formalen mathematischen Operationen mit den Gleichungen für die Geschwindigkeiten zweier Körper nach dem Stoß, sondern auf der Interpretation der deduktiv hergeleiteten Beziehungen für die Spezialfälle und auf ihrer experimentellen Bestätigung.

(1) Zu Beginn der Stunde wird wiederholt, von welchem Ansatz ausgehend man die Geschwindigkeiten von zwei wechselwirkenden Körpern nach dem elastischen Stoß ermitteln kann. An einem gegebenen Beispiel (z. B. auf FO vorbereitet) begründen die Schüler die Anwendbarkeit des Impulserhaltungssatzes und des Energieerhaltungssatzes der Mechanik und wenden die Erhaltungssätze selbständig auf den gegebenen Fall an. Es sollte ein Beispiel ausgewählt werden, bei dem die Schüler das bisher erworbene Wissen schöpferisch anwenden müssen (etwa zwei Kugeln, die sich vor dem Stoß in entgegengesetzter Richtung bewegen). Die Wiederholung kann mit einer mündlichen Leistungskontrolle verbunden werden.
Praktisch bedeutsam sind einige Spezialfälle, die nun betrachtet werden. Dies kann in Abhängigkeit von der Klassensituation in verschiedener Ausführlichkeit geschehen. Nachfolgend ist eine mögliche Variante angegeben.
Es ist zweckmäßig, jeweils aus den gegebenen Gleichungen für die Geschwindigkeit der Körper nach dem Stoß auf deduktivem Wege den speziellen Fall herzuleiten, diesen Fall mit den Schülern zu diskutieren und anschließend im Experiment mit dem Kugelstoßapparat zu demonstrieren.
In dieser Stunde werden die Fälle $v_1 \neq 0$, $v_2 = 0$ bei verschiedenen Masseverhältnissen ($m_1 = m_2$, $m_1 \ll m_2$, $m_1 \gg m_2$) erörtert. Bei der Diskussion sollte auf die Impulsänderung der wechselwirkenden Körper und auf die Energieübertragung zwischen den Körpern eingegangen werden. Bei $m_1 = m_2$ wird die gesamte Energie von dem einen auf den anderen Körper übertragen, bei $m_1 \ll m_2$ ist die Energieübertragung null. Den Schülern ist an Beispielen die Bedeutung dieser Spezialfälle aufzuzeigen. Einige Ergebnisse und Beispiele werden in einer Tabelle zusammengestellt (vgl. TB 52/1b). Abschließend beantworten die Schüler Problemfragen (LB, S. 44). Daraus kann auch die HA ausgewählt werden.

(2) Die Schüler werden darauf hingewiesen, daß nicht nur Stoßvorgänge zwischen makroskopischen Objekten, sondern auch solche zwischen makroskopischen Körpern und Atomen beziehungsweise Molekülen sowie zwischen mikrophysikalischen Objekten (Elementarteilchen) von erheblicher Bedeutung sind. Als Beispiel wird

der Druck eines Gases gegen die Wände eines Gefäßes ausführlich betrachtet. Er kann im Modellexperiment mit Hilfe des Gerätes für kinetische Gastheorie gezeigt werden. In Vorbereitung der Behandlung der Thermodynamik wird nun untersucht, wie groß der Kraftstoß ist, den eine Kugel bei senkrechtem Aufprall einer Wand erteilt.

Bei der Erarbeitung sollte schrittweise vorgegangen werden, damit den Schülern die Anwendung verschiedener Beziehungen und Gesetze deutlich bewußt wird. Ihnen wird mitgeteilt, daß bei einem idealen Gas die Wechselwirkung zwischen den Molekülen des Gases und der Wand eines Gefäßes elastisch ist. Es liegt der Fall $v_1 \neq 0$, $v_2 = 0$, $m_1 \ll m_2$ vor. Davon ausgehend wird zunächst die Impulsänderung bestimmt, die das Teilchen (Kugel) bei elastischer Wechselwirkung mit der Wand erfährt. Aus der Beziehung zwischen Impulsänderung und Kraftstoß kann auf die Größe des auf die Kugel wirkenden Kraftstoß $\bar{F} \cdot \Delta t$ geschlossen werden. Nach dem Wechselwirkungsgesetz wirkt dann während der Stoßzeit Δt auch die Kugel mit

Tafelbild

Bild 52/1

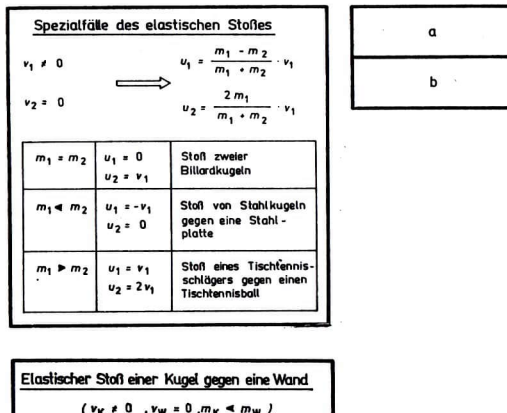
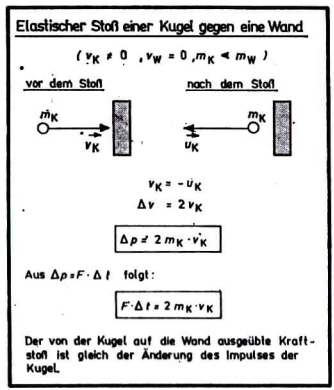


Bild 52/2



der mittleren Stoßkraft $\bar{F}$ auf die Wand und erteilt dieser einen Kraftstoß $\bar{F} \cdot \Delta t = 2m_K \cdot v_K$. Um den Schülern eine Vorstellung über die bei solchen Stößen gegen eine Wand auftretenden Größen zu vermitteln, sollte abschließend ein Beispiel durchgerechnet werden. Dazu eignet sich das im LB, S. 43, enthaltene Beispiel.

8. Stunde: Festigungsstunde

Stundenziele

Die Schüler

- systematisieren ihre Kenntnisse über wesentliche physikalische Begriffe und Gesetze der Mechanik;
- sind in der Lage, unter Nutzung der behandelten Gesetze Anwendungsaufgaben zu lösen;
- erkennen, daß mit Hilfe weniger grundlegender Gesetze der Mechanik eine Vielzahl von praktisch bedeutsamen Problemen gelöst werden kann.

Unterrichtsmittel

Folie, Polylux

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Systematisierung einiger wesentlicher Begriffe und Gesetze der Mechanik (S) Erörterung von Verfahren zur Erkenntnisgewinnung (E) **25 min**	HA (K) Erarbeiten einer Übersicht über die physikalischen Größen Arbeit, Energie, Kraftstoß und Impuls sowie die Beziehungen der Größen zueinander (UG) Wiederholen wesentlicher Definitionen und Gesetze (UG) Suchen eines geeigneten Verfahrens der Erkenntnisgewinnung für den Stoffabschnitt Stoßprozesse (UG, HA)
Impuls und Energie sind Zustandsgrößen. Unter bestimmten Voraussetzungen gilt für ein mechanisches System der Impulserhaltungssatz bzw. der Energieerhaltungssatz. Die Zustandsgröße Impuls ist eng mit der Prozeßgröße Kraftstoß, die Zustandsgröße Energie eng mit der Prozeßgröße Arbeit verknüpft.	
(2) Festigung durch Lösen von Aufgaben **20 min**	Lösen von Aufgaben zu Schwerpunkten des Stoffgebietes „Mechanik I" (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die Stunde beginnt mit der Erarbeitung einer tabellarischen Übersicht über die Größen Arbeit, Energie, Kraftstoß und Impuls sowie ihrer Beziehungen zu-

einander. Die Ziele dieses Stundenabschnittes bestehen darin, einige grundlegende Definitionen, Gesetze und Beziehungen zwischen den Größen zu wiederholen und zu systematisieren. Die Übersicht kann auf einer Folie für den Polylux vorbereitet werden (siehe Bild 54/1). Sie wird mit den Schülern schrittweise erarbeitet und dabei sukzessive aufgedeckt. Die Erarbeitung ist so anzulegen, daß nicht nur formales Wissen, z. B. Definitionen oder Gesetze, abgefordert wird. Die Schüler sollen vor allem den physikalischen Inhalt der Definitionen und Gesetze wiedergeben und an Beispielen erläutern. Dabei kann ihnen noch einmal bewußtgemacht werden, daß die betrachteten physikalischen Größen und Gesetze überaus große praktische Bedeutung haben.
Die Schüler erhalten die Aufgabe, analog zur Zusammenfassung (LB, S. 36) eine ähnliche Darstellung des Erkenntnisweges für einen kleinen Stoffabschnitt des Lehrbuchtextes zu Stoßprozesse zu erarbeiten (HA).

(2) Im zweiten Teil der Stunde werden weitere Aufgaben zum Stoffgebiet „Mechanik I" gerechnet. Die Auswahl der Aufgaben sollte in Abhängigkeit von der Klassensituation unter Berücksichtigung der Lehrplanschwerpunkte erfolgen. Das sind vor allem die Arbeit-Energie-Beziehung, der Energieerhaltungssatz der Mechanik, die Kraftstoß-Impuls-Beziehung und der Impulserhaltungssatz. Als eine komplexe Aufgabe etwas höheren Schwierigkeitsgrades eignet sich beispielsweise folgende:
Bei einem Verkehrsunfall fuhr ein Pkw ($m_1 = 1$ t) auf einen haltenden Lkw ($m_2 = 3{,}5$ t). Nach dem als unelastisch anzusehenden Zusammenstoß bewegen sich beide Kraftwagen noch 50 cm weiter. Der durchschnittliche Reibungskoeffizient betrug 0,4.

a) Wie groß war die Geschwindigkeit des Pkw vor dem Auffahren?
b) Wieviel Prozent der gesamten kinetischen Energie des Pkw wurden bei der Verformung der Kraftwagen wirksam?

Folie
Bild 54/1

Prozeßgröße	Zustandsgröße
Mechanische Arbeit W · Hubarbeit · Beschleunigungsarbeit · Reibungsarbeit · Federspannarbeit	Mechanische Energie E · potentielle Energie · kinetische Energie
$W = \Delta E$	
	In einem abgeschlossenen, reibungsfreien mechanischen System gilt: $E_{pot} + E_{kin} = \text{konstant}$
Kraftstoß $S = \bar{F} \cdot \Delta t$	Impuls $p = m \cdot v$
$F \cdot \Delta t = \Delta p$	
	In einem abgeschlossenen mechanischen System gilt: $\sum_{i=1}^{n} \vec{p_i} = \text{konstant}$

9. Stunde: Kontrollstunde

Nachfolgend sind mögliche Aufgaben für eine Kontrollarbeit zusammengestellt. Der Lehrer sollte aus jeder Gruppe von Aufgaben mindestens eine auswählen. Dabei ist zu beachten, daß die Aufgaben innerhalb einer Gruppe verschiedenen Schwierigkeitsgrad haben.

(I) Mechanische Arbeit und Energie

1. Eine Kiste ($m = 50$ kg) wird eine 3 m lange, mit $\alpha = 30°$ geneigte Ebene hochgezogen. Der Reibungskoeffizient beträgt 0,4. Wie groß ist die verrichtete Arbeit?
2. Ein Fahrzeug ($m = 900$ kg) fährt mit $v = 72\ \mathrm{km \cdot h^{-1}}$ und wird auf einer Strecke von 50 m zum Stand gebracht. Wie groß war die durchschnittliche Bremskraft?
3. Nach einem Verkehrsunfall wird eine 10 m lange Bremsspur gemessen. Die Masse des Fahrzeugs mit Insassen betrug 1100 kg, der Reibungskoeffizient unter den gegebenen Bedingungen 0,5. Welche Geschwindigkeit hatte das Fahrzeug?
4. Erläutern Sie an einem selbstgewählten Beispiel den Zusammenhang zwischen mechanischer Arbeit und Energie?

(II) Energieerhaltungssatz

1. Welche Anfangsgeschwindigkeit v_0 hatte ein senkrecht nach oben abgefeuertes Geschoß, wenn seine maximale Steighöhe 320 m betrug (Die Reibung werde vernachlässigt!)?
2. Ein Stein wird senkrecht nach oben geworfen und erreicht eine maximale Höhe von 15 m. Wie groß war die Abwurfgeschwindigkeit?
3. Ein Ball ($m = 500$ g) fällt von einem Balkon aus 8 m Höhe nach unten. Wie hoch springt er zurück, wenn beim Aufprall 55% der mechanischen Energie in Wärme umgewandelt werden?
4. Leiten Sie aus dem Energieerhaltungssatz eine Gleichung für die Endgeschwindigkeit v eines horizontal mit der Geschwindigkeit v_0 abgeworfenen Körpers her!

(III) Kraftstoß und Impuls

1. Ein Rammbär ($m_1 = 250$ kg) fällt aus $h = 2$ m Höhe auf einen Pfahl, der dadurch nur wenig ins Erdreich eindringt.
   a) Wie groß ist der auf den Pfahl ausgeübte Kraftstoß?
   b) Wie groß war die durchschnittliche Stoßkraft, wenn die Stoßdauer mit 0,5 s angenommen wird?
2. Auf einen zunächst ruhenden, reibungsfrei gelagerten Körper der Masse $m = 300$ g wirkt 3 s lang eine Kraft von 0,5 N. Welche Geschwindigkeit erreicht der Körper nach diesen drei Sekunden?
3. Wie lange muß eine Kraft von 20 N auf einen Körper einwirken, um ihm einen Impuls von $250\ \mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-1}}$ zu erteilen?
4. Erläutern Sie an einem selbstgewählten Beispiel den Zusammenhang zwischen Kraftstoß und Impulsänderung!

(IV) Stoßprozesse

1. Ein Straßenbahnwagen von 2,5 t Masse fährt mit $v_1 = 1{,}5\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ gegen einen stehenden Wagen von 3,5 t Masse. Die automatische Kupplung klinkt sofort ein. Mit welcher gemeinsamen Geschwindigkeit fahren die beiden Wagen weiter?
2. Ein Güterwaggon der Masse $m_1 = 30$ t stößt elastisch mit $v_1 = 1{,}5\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ gegen einen stehenden Waggon der Masse $m_2 = 45$ t. Mit welchen Geschwindigkeiten und in welchen Richtungen bewegen sich beide Waggons nach dem Stoß?
3. Ein Geschoß ($m_1 = 10$ g) trifft auf einen Holzklotz ($m_2 = 300$ g). Dieser bewegt sich nach dem Einschuß mit dem in ihm steckenden Geschoß mit $u = 5\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. Wie groß war die Geschoßgeschwindigkeit?
4. Begründen Sie die Anwendbarkeit des Impulserhaltungssatzes beziehungsweise des Energieerhaltungssatzes der Mechanik beim elastischen und beim unelastischen Stoß?
   Leiten Sie eine Gleichung zur Berechnung der gemeinsamen Geschwindigkeit zweier Körper nach einem unelastischen Stoß her!

Stoffgebiet Thermodynamik 32 Stunden

Stoffeinheit Kinetisch-statistische Betrachtungen 12 Stunden

Vorbemerkungen

Im Mittelpunkt der Stoffeinheit steht das Untersuchen thermodynamischer Systeme mit Hilfe der kinetisch-statistischen Betrachtungsweise. Damit wird für die gesamte Stoffeinheit das Aufdecken des Wesens thermodynamischer Erscheinungen und Prozesse auf der Grundlage der Kenntnisse über den Teilchenaufbau der Stoffe in den Vordergrund gerückt. Im Zusammenführen der Energie- und der Strukturleitlinie des Physikunterrichtes liegt eine Besonderheit dieser Stoffeinheit. Die Schüler sollen im Ergebnis des Anwendens der kinetisch-statistischen Betrachtungsweise auf das Modell des idealen Gases ein tieferes Verständnis für Begriffe und Gesetze der phänomenologischen Thermodynamik gewinnen. In diesem Zusammenhang wird dem derzeitigen Entwicklungsstand der Theorien der Thermodynamik Rechnung getragen, wenn die Wärme ausschließlich als Wechselwirkungsgröße betrachtet wird. Das darf jedoch nicht dazu führen, daß die Schüler aus dem Zurückführen des Verhaltens thermodynamischer Systeme auf allgemeine Gesetzmäßigkeiten im Teilchenbereich die Theorie der statistischen Thermodynamik gegenüber der phänomenologischen Thermodynamik überbewerten oder die Bedeutung der kinetisch-statistischen Betrachtungsweise nur im Deuten von Begriffen und Gesetzen der phänomenologischen Thermodynamik sehen.
Deshalb werden gleich zu Beginn der Stoffeinheit beide Betrachtungsweisen gleichzeitig eingeführt und die gleichberechtigte Stellung betont. Insbesondere am Beispiel der Begriffe Druck, Temperatur und der inneren Energie sowie des Volumen-Druck-Gesetzes soll nachgewiesen werden, daß nur das Anwenden beider Betrachtungsweisen auf ein und denselben Unterrichtsgegenstand tiefere Einsichten in thermodynamische Erscheinungen und Prozesse ermöglicht. Damit wird ein wichtiger Beitrag für die Entwicklung des dialektischen Denkens geleistet.
Gegenstand der Untersuchungen in der Thermodynamik ist das thermodynamische System. An einfachen Beispielen sollen die Schüler den Abstraktionsprozeß zum thermodynamischen System erläutern und den Modellcharakter thermodynamischer Systeme nachweisen können.
Das Reaktivieren der Begriffe Druck, Volumen, Temperatur und innere Energie erfolgt in einer erweiterten Wiederholung, indem sie als Zustandsgrößen thermodynamischer Systeme gekennzeichnet werden. Auf die Prozeßgrößen (Wechselwirkungsgrößen) Arbeit und Wärme wird in diesem Zusammenhang noch nicht näher eingegangen. Beim späteren Festlegen ihrer Begriffsmerkmale werden moderne fachwissenschaftliche Erkenntnisse zugrunde gelegt.
Aus den Klassen 6 und 8 ist den Schülern bereits bekannt, daß die thermodynamischen Eigenschaften der festen, flüssigen und gasförmigen Körper durch die Anordnung und Bewegung der Teilchen bestimmt sind. Die Schüler haben es gelernt,

qualitativ molekularkinetische Betrachtungen durchzuführen. An dieses Wissen und Können anknüpfend, wird das Volumen-Druck-Gesetz auf der Grundlage des Teilchenmodells hergeleitet.
Erster Schritt ist das Schaffen des Modells ideales Gas als System von Aussagen. Dieses spezielle Teilchenmodell besitzt zentrale Bedeutung für den Erkenntnisprozeß innerhalb der gesamten Stoffeinheit. Besondere Aufmerksamkeit ist dem Modellbildungsprozeß und dem Diskutieren der Gültigkeitsgrenzen des Modells zu widmen. Das sorgfältige Herausarbeiten der Eigenschaften des Teilchenaufbaus realer Gase, die im Modell ideales Gas erhalten bleiben bzw. vernachlässigt werden können, ist eine wesentliche Grundlage für das richtige Anwenden der Gesetze und für weiterführende Untersuchungen realer Gase. Im weiteren Unterricht sollen die Schüler die einzelnen Schritte der Modellmethode nicht nur wiedererkennen, sondern den Erkenntnisweg bewußt vorplanen. Damit gewinnt eine die Stoffeinheit umfassende Zielorientierung große Bedeutung.
Im weiteren Schritt werden die molekularkinetischen Betrachtungen durch statistische ergänzt. Dieses Vorgehen wird notwendig, weil das Verfolgen der Bewegung aller einzelnen Teilchen praktisch unmöglich ist. Ort und kinetische Energie der Teilchen sind als zufällige Ereignisse zu betrachten. In der Klasse 10 wurden die Schüler bereits am Beispiel des spontanen Kernzerfalls mit zufälligen Ereignissen großer Häufigkeit bekanntgemacht. Das dort erworbene Wissen und Können über statistische Gesetze wird nun vertieft und erweitert. Es wird das Wesen statistischer Gesetze am Beispiel der räumlichen Verteilung und der Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases erläutert, indem Aussagen zum notwendigen Verhalten der Gesamtheit zufälliger Teilchenereignisse und zur Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Teilchenereignisses getroffen werden. Zugleich werden allgemeingültige Denk- und Arbeitsschritte statistischer Betrachtungen formuliert. Damit werden Vorleistungen für ein besseres Verständnis des Doppelspaltversuches in der Optik, kernenergetischer Prozesse sowie anderer natur- und gesellschaftswissenschaftlicher stochastischer Erscheinungen geschaffen. Zudem wird ein wesentlicher Beitrag für das Festigen der Einsicht der Schüler in die Erkennbarkeit und Veränderbarkeit der Welt sowie zur Entwicklung des stochastischen Denkens geleistet.
Demonstrationsexperimente zur Irreversibilität natürlicher Prozesse und zur Brownschen Bewegung werden als Belege für die gewonnenen Erkenntnisse durchgeführt. Im Falle der Irreversibilität werden Vorleistungen für ein tieferes Verständnis des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik geschaffen. Die wesentlichen Begriffe absolute und relative Häufigkeit sowie Wahrscheinlichkeit werden anhand von Demonstrationsexperimenten (Luftkissenapparatur) zur ungeordneten Bewegung und räumlichen Verteilung von Teilchen eines Modellgases anschaulich erarbeitet. Beim Ermitteln der Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases werden sie gefestigt. In diesem Zusammenhang sollen die Schüler ihr Können im Ermitteln und Interpretieren von Diagrammen vervollkommnen.
Höhepunkt der Stoffeinheit ist das Herleiten und Interpretieren des Volumen-Druck-Gesetzes. Die Schüler müssen echt erleben, wie es gelingt, gesetzmäßige Beziehungen auf der Grundlage der chaotischen Bewegung einer sehr großen Anzahl von Teilchen theoretisch herzuleiten und mathematisch zu formulieren. Es werden hinsichtlich der geistigen Anforderungen hohe Maßstäbe gesetzt. Sie liegen weniger im Suchen und Erproben neuer Mittel und Wege, in einer hohen Eigenaktivität, als im Verstehen des überaus komplexen Deduktionsprozesses. Die Deduktion erweist sich hier für die Schüler nicht als sehr überschaubar und kurz. Bereits im vorangegangenen Unterricht müssen die Schüler insbesondere durch eine spezielle Zielorientierung und selbständig ausgeführte Deduktion zum Bewältigen der Anforderungen befähigt werden.

Das Reproduzieren der Herleitung ist keine Lehrplananforderung. Deshalb sind deutliche Akzente auf das Erarbeiten und Begründen der Annahmen, das physikalische Interpretieren der Druckgleichung und des Volumen-Druck-Gesetzes sowie das Diskutieren der Gültigkeitsgrenzen dieser Beziehungen zu setzen. Im ersten Falle gilt es, den Schülern Denk- und Arbeitsweisen des Wissenschaftlers zur Lösung kompliziert erscheinender Probleme bewußt zu machen. Das Interpretieren bedeutet nicht ein verbales Formulieren der physikalischen Größengleichungen. An die erworbenen Kenntnisse über das Wesen der Betrachtungsweisen anknüpfend, weisen die Schüler am Beispiel der Druckgleichung erstens nach, daß die makrophysikalische Größe Druck funktional mit den mikrophysikalischen Größen Teilchenanzahldichte und mittlere kinetische Energie der Teilchen verbunden ist. Zweitens deuten sie den Gasdruck als statistische Größe. Zum dritten erkennen die Schüler, daß mikrophysikalische Größen durch das Messen makrophysikalischer Größen berechenbar sind. Diese Erkenntnis wird am Beispiel der Berechnung der mittleren Geschwindigkeit von Gasmolekülen erläutert.
Zur weiteren Bestätigung des Modells ideales Gas und zur Sicherung der auf seiner Basis gewonnenen Erkenntnisse werden die Temperatur als statistische Größe gedeutet und thermische Prozesse (Verdunsten, Sieden, Temperaturausgleichsvorgang) erklärt. Am Beispiel des Temperaturausgleichsvorganges wird der Wärmebegriff durch das Zurückführen auf Vorgänge im Teilchenbereich anschaulich erläutert und als Prozeßgröße gekennzeichnet.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. Grundbegriffe und Betrachtungsweisen Gegenstand der Thermodynamik Merkmale thermodynamischer Systeme Thermodynamische Zustandsgrößen Betrachtungsweisen	Energie und Energieumwandlung (Ph 8) Teilchenstruktur der Stoffe (Ph 6) Energietransport durch Wärmeleitung, -strömung, -strahlung (Ph 8) Zustandsgrößen (Ph 8) Wechselwirkung (Stb 11)	LB S. 46 bis 49 AT Atomkraftwerk (SKUS 08901056)
2. Modell des idealen Gases Ziel kinetisch-statistischer Betrachtungen Merkmale des Teilchenaufbaus der Stoffe, insbesondere der Gase – Modell des idealen Gases Notwendigkeit statistischer Betrachtungen an Modellen	Teilchenstruktur der Stoffe (Ph 6 bis 10) Modell des idealen Gases (Ph 8) Statistische Probleme: – Kernzerfall (Ph 10) – Aufenthaltsort von Elektronen (Ch 8) – Chemisches Gleichgewicht (Ch 10) – Genetik/Abstammungslehre (Bio 10) – Wettererscheinungen (Geo 9)	LB S. 49 bis 50 DE Volumen-Druck-Verhalten von Gasen (PSV 3/4/5, V 2.3.2.) DE Modellversuche zur Teilchenbewegung – Luftkissenzusatzgerät zum Polylux (PSV 11, V 1.3.6.1.) – Schüttelapparat (PSV 11, V 1.3.2.)

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
3. Absolute Häufigkeitsverteilung der Anordnungen Anordnungen des Vier-Teilchen-Systems Häufigkeit und Häufigkeitsverteilung	Ort eines Teilchens als zufälliges Ereignis	LB S. 50 bis 52 DE: Anordnungen der Modellgasteilchen (LB S. 50)
4. Relative Häufigkeit und Wahrscheinlichkeiten der Anordnungen Relative Häufigkeit Wahrscheinlichkeit Denk- und Arbeitsschritte statistischer Betrachtungen	Dynamisches und statistisches Gesetz (Ph 10)	LB S. 51 bis 53 und 55
5. Statistisches Gesetz der räumlichen Verteilung der Teilchen des idealen Gases Realisierung einer Anordnung Statistisches Gesetz der räumlichen Verteilung der Teilchen des idealen Gases	Binomialkoeffizienten (Pascalsches Dreieck) (Ma 11) Gültigkeitsbedingungen eines Gesetzes	LB 54 bis 56 DE: Realisierungen von Anordnungen (Hafttafel, 4 markierte Manipermmagnete) Fo: Pascalsches Dreieck (selbst gefertigt) Vergabe eines SV
6. Irreversible Zustandsänderungen Begriff der irreversiblen Zustandsänderung Diffusion Objektiver Charakter dynamischer und statistischer Gesetze	Statistisches Gesetz der räumlichen Verteilung der Teilchen des idealen Gases Diffusion (Ph 6, 8) Halbleiterbauelemente (Ph 9) Isotopentrennung (Ph 10) Nahrungsaufnahme von Pflanzen (Bio) Atmung (Bio)	LB S. 56 bis 57 und 64 DE: Lösen von Zucker (PSV 11, V 1.2.2.) DE: Gedämpfte mechanische Schwingungen K-F 25: Diffusion von Gasen DE: Diffusion durch eine poröse Wand (PSV 3/4/5, V 3.4.9.)
7. Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases Zusammenfassung Kinetische Energie der Teilchen als statistisches Problem Energieverteilung Mittlere kinetische Energie	Wesen statistischer Betrachtungen Denk- und Arbeitsschritte statistischer Betrachtungen Mittlere kinetische Energie der Teilchen eines Körpers (Ph 8)	LB S. 57 bis 58 DE: Modellexperiment zur Energieverteilung (LB S. 58)
8. Folgerungen aus der räumlichen Verteilung und der Energieverteilung der Teilchen Innere Energie Zusammenhang zwischen E_{kin} und $\overline{v^2}$ Schwankungserscheinungen	Innere Energie eines Körpers (Ph 8) Brownsche Bewegung (Ph 8)	LB S. 59 bis 60 DE: Brownsche Bewegung – Modellexperiment (PSV 11, V 1.3.2./1 oder V 1.3.6./2) – Realexperiment (siehe UH S. 77) K-F 62: Brownsche Bewegung

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Voriei stungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
9. Druck des idealen Gases Gasdruck aus kinetisch-statistischer Sicht Annahmen für die Herleitung der Druckgleichung	Definition des Druckes (Ph 7) Gasdruck aus molekularer Sicht (Ph 8)	LB S. 60 bis 62 DE: Gasdruck, Modellexperimente (Anleitung zum Schüttelapparat; LB Ph 11, Ausgabe 1969, S. 90)
10. Volumen-Druck-Gesetz Volumen-Druck-Gesetz Gültigkeitsbereich Teilchengeschwindigkeit eines Gases	Definition der Dichte (Ph 7)	LB S. 62 und 63 DE: Volumen-Druck-Verhalten
11. Temperatur des idealen Gases Volumen-Druck-Gesetz und Wechselwirkung Zusammenhang zwischen Kelvin-Temperatur und mittlerer kinetischer Energie Temperaturabhängigkeit der Energieverteilung	Allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases (Ph 8) Temperatur aus molekular-kinetischer Sicht (Ph 8) Verdunsten (Ph 6, 8)	LB S. 62 und 63 DE: Modellexperiment zur Energieverteilung (LB S. 58) (AB Verdunsten)
12. Thermische Prozesse Systematisierung Verdampfen Temperaturausgleichsvorgang	Verdampfen (Ph 6, 8) Wärmeaustausch (Ph 8)	LB S. 65 AB: Temperaturausgleich zwischen zwei Gasen DE: Verdunsten und Verdampfen

1. Stunde: Grundbegriffe und Betrachtungsweisen

Stundenziele

Die Schüler

- kennen wesentliche Merkmale thermodynamischer Systeme und können den Abstraktionsprozeß zum thermodynamischen System sowie den Modellcharakter thermodynamischer Systeme an einfachen Beispielen erläutern;
- wissen, daß auf thermodynamische Systeme die phänomenologische und die kinetisch-statistische Betrachtungsweise angewandt werden. Sie sind fähig, beide Betrachtungsweisen miteinander zu vergleichen;
- festigen ihr Wissen über die thermodynamischen Zustandsgrößen Druck, Volumen, Temperatur und innere Energie.

Unterrichtsmittel

AT: Atomkraftwerk

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Gegenstand der Thermodynamik (E) 5 min	Schildern interessierender thermodynamischer Erscheinungen und Prozesse in Atomkraftwerken (AT), im Winderhitzer (LB S. 46) und anderen Anlagen (LV/UG) Orientieren auf Probleme und Aufgaben des Stoffgebietes (LV)
Die Thermodynamik untersucht Energieumwandlungs- und Energieübertragungsprozesse, bei denen die Wärme eine Rolle spielt. Sie sind bei speziellen Objekten der Natur und Technik zu beobachten.	
(2) Wesen und Merkmale thermodynamischer Systeme (E) 20 min	Abgrenzen realer Objekte unter thermodynamischen Aufgabenstellungen (UG; TB 63/1a) Hinweisen auf weitere notwendige Abstraktionen zur Aufgabenbewältigung (eingeschlossenes ideales Gas) (LV, TB 63/1 b)
Thermodynamische Systeme sind Untersuchungsgegenstand der Thermodynamik. Sie entstehen durch Abgrenzen realer Objekte von ihrer Umgebung.	
(3) Thermodynamische Zustandsgrößen (Fst, W) 10 min	Festlegen der Zustandsgrößen Druck, Volumen, Temperatur und innere Energie mit LB S. 47 und 48 (SSA) Berechnen des Drucks in 10 m Wassertiefe (SSA, HA)
Die thermodynamischen Zustandsgrößen charakterisieren eindeutig den Zustand eines thermodynamischen Systems. Ihre Werte können z.B. durch Wechselwirkung mit der Umgebung an der Systemgrenze verändert werden.	
(4) Betrachtungsweisen in der Thermodynamik (E) 10 min	(Phänomenologisches) Beschreiben und (molekularkinetisches) Erklären des Verdunstens einer Flüssigkeit (SSA) Bewußtmachen und allgemeines Kennzeichnen der Betrachtungsweisen (LV; TB 63/1 c) Vergleichen von phänomenologischer und kinetisch-statistischer Betrachtungsweise (SSA)
Die phänomenologiches Betrachtungsweise beschreibt die makroskopischen Eigenschaften thermodynamischer Systeme. Der kinetisch-statistischen Betrachtungsweise liegt ein Teilchenmodell zugrunde.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

In dieser Stunde steht das Schaffen der erkenntnistheoretischen Ausgangsbasis im Vordergrund. Das geschieht, indem die phänomenologische und die kinetisch-statistische Betrachtungsweise charakterisiert und der Begriff des thermodynamischen Systems eingeführt wird. Schwerpunkt der didaktisch-methodischen Gestaltung ist das Einführen und Festigen grundlegender Begriffe der Thermodynamik.

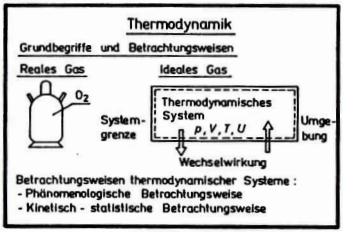
(2) Da das in bestimmter Weise begrenzte ideale Gas Hauptuntersuchungsgegenstand dieser Stoffeinheit ist, sollte dieses Beispiel im Mittelpunkt der Betrachtungen stehen (ohne Details der folgenden Stunde vorwegzunehmen). Der Abgrenzungsprozeß als erster Schritt des Bildens thermodynamischer Systeme kann mit Hilfe des Lehrbuches (Seite 46) erfolgen.

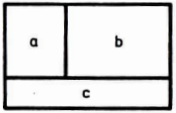
(3) Die Schüler reaktivieren ihre Kenntnisse über thermodynamische Zustandsgrößen in selbständiger Arbeit mit dem Lehrbuch. Es besteht die Möglichkeit, die Wechselwirkungsproblematik bei thermodynamischen Systemen am Temperaturmeßvorgang festigend zu verdeutlichen. Bei diesem Vorgang beeinflussen sich die Luft (Umgebung) und das Thermometer an der Systemgrenze zwar wechselseitig, aber die Veränderung des Zustandes der Luft kann prinzipiell klein gehalten werden. Es erfolgt ein Hinweis auf die letzte Stunde der Stoffeinheit, in der eine Form der Wechselwirkung an der Systemgrenze genauer untersucht wird (Wärme).

(4) Die Aussagen zum Verdunstungsprozeß werden vom Lehrer gemäß den zugrunde liegenden Modellen klassifiziert und zum Ausgangspunkt der Begriffsbildung gemacht. Die Schüler sollen erste Informationen über die Bedeutung beider Betrachtungsweisen erhalten (siehe Vorbemerkungen zur Stoffeinheit, Seite 57).

Tafelbild

Bild 63/1





2. Stunde: Modell des idealen Gases

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Eigenschaften des Modells des idealen Gases,
- können den zufälligen Charakter des Aufenthaltsortes und der kinetischen Energie der Teilchen begründen;
- sind sich der Notwendigkeit statistischer Betrachtungen bewußt;
- vertiefen die Einsicht in den Zufallsbegriff.

Unterrichtsmittel

PSV 3/4/5, V 2.3.2.
PSV 11, V 1.3.6.1. und V 1.2.2.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Ziel kinetisch-statistischer Betrachtungen (Langzeitmotivation)	Beschreiben (halbquantitativ) des Volumen-Druck-Verhaltens der Luft im Winderhitzer (LV) Orientieren, daß am Beispiel der Erkenntnis des Volumen-

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
10 min	Druck-Gesetzes (für Luft) die Gleichberechtigung der Betrachtungsweisen gezeigt werden soll (DE nach PSV 3/4/5, V 2.3.2.; LV)
Makroskopische Eigenschaften thermodynamischer Systeme werden auf Prozesse im Teilchenbereich zurückgeführt. Es besteht ein Zusammenhang zwischen makrophysikalischen und molekularen Größen.	
(2) Merkmale des Teilchenaufbaus der Stoffe, insbesondere der Gase (Sicherung des Ausgangsniveaus) 10 min	Zusammenfassen wesentlicher Merkmale (UG; TB 65/1a)
(3) Modell ideales Gas Gas aus kinetisch-statistischer Sicht (E) 15 min	Begründen der Notwendigkeit der Modellierung (UG/LV) Festlegen des Aussagensystems (UG; TB 65/1b) Demonstrieren der ungeordneten Teilchenbewegung (DE nach PSV 11, V 1.3.6.1. oder V 1.3.2.)
Untersuchungsgegenstand ist nicht das reale Gas, sondern das ideale Gas (aus kinetisch-statistischer Sicht).	
(4) Notwendigkeit statistischer Betrachtungen an Modellen (E) 10 min	Kennzeichen der Bewegungsrichtung einzelner Teilchen des idealen Gases als zufälliges Ereignis (UG) Erläutern des zufälligen Charakters von Aufenthaltsort und kinetischer Energie einzelner Teilchen des idealen Gases (SSA) Erläutern des Wesens statistischer Betrachtungen an Beispielen: Teilchenbewegung, Statistiken aus dem gesellschaftlichen Leben (LV/UG) Begründen der Notwendigkeit statistischer Betrachtungen (SSA) Begründen des Einsatzes von gegenständlichen Realisierungen des Modells ideales Gas (LV)
Das Verfolgen und Auswerten der Bewegung aller einzelnen Teilchen (etwa 10^{18} je cm^3 Luft) ist praktisch unmöglich. Ort und kinetische Energie einzelner Teilchen sind deshalb als zufällig zu betrachten. Es kann nur eine Teilchengesamtheit untersucht werden. Hierzu dienen das Modell ideales Gas und Realisierungen von ihm.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Das Zurückführen makroskopischer Eigenschaften thermodynamischer Systeme auf mikroskopische Prozesse insbesondere am Volumen-Druck-Gesetz wird als zentrale Zielstellung für den Unterricht zur Stoffeinheit dargestellt. Es werden die Schwierigkeiten aufgezeigt, die beim Ableiten der Eigenschaften des Systems aus Teilcheneigenschaften auftreten (Problemsituation). Daraus ergibt sich die Frage nach notwendigen wissenschaftlichen Arbeitsmethoden (Problemstellen). Erster Schritt der Problemlösung ist das Schaffen des Modells des idealen Gases. Die Notwendigkeit statistischer Betrachtungen wird begründet.

(1) Die in der ersten Stunde behandelten Grundbegriffe und Betrachtungsweisen werden am Gerät zum Nachweis des Volumen-Druck-Gesetzes mit Wasseranschluß gefestigt. Nachdem der Zusammenhang zwischen Volumen und Druck experimen-

tell bestätigt worden ist, wird die Frage nach seiner Herleitung auf theoretischem Wege gestellt.

(3) Beachten Sie die Aussagen zum Teilchenmodell in den Vorbemerkungen zur Stoffeinheit (Seite 57)! Der Vergleich von realem und idealem Gas wird als Hausaufgabe gestellt.

(4) Es ist darauf zu achten, daß die Schüler unter einem zufälligen Ereignis nicht nur ein Ereignis mit geringer Wahrscheinlichkeit verstehen. Ein Ereignis heißt zufällig, wenn es bei gegebenen Bedingungen innerhalb eines Feldes von Möglichkeiten eintreten kann, aber nicht eintreten muß. Zufälligen Ereignissen liegen sehr viele Einflußfaktoren zugrunde, die nicht in wesentliche und unwesentliche aufgeteilt werden können. Sie sind jedoch wie alle anderen Ereignisse kausal bedingt. Beispiele für sichere Ereignisse ergänzen die Betrachtungen.

Tafelbild
Bild 65/1

Modell ideales Gas

Teilchenmodell		Modell ideales Gas
Alle Stoffe bestehen aus Teilchen	---→	ebenso
Sehr große Teilchenanzahl	---→	ebenso
Ständige (ungeordnete) Teilchenbewegung	---→	ebenso
Teilchen besitzen Masse	---→	ebenso
Teilchen besitzen Volumen	---→	kein Volumen
Teilchen besitzen kinetische Energie (E_{Sch} E_{Rot} E_{Trans})	---→	ebenso, aber nur Translationsenergie
Zwischen den Teilchen wirken Kräfte	---→	keine Kräfte, aber elastische Stöße auf Gefäßwände
Teilchen haben selbst eine komplizierte innere Struktur	---→	keine innere Struktur (Punktmassen)

a	b

3. Stunde: Häufigkeitsverteilung von Teilchen

Stundenziele

Die Schüler

- wenden ihr Wissen über den zufälligen Charakter des Aufenthaltsortes eines Gasteilchens an, um das Eintreten einer Anordnung als zufälliges Ereignis zu charakterisieren;
- kennen die Begriffe absolute Häufigkeit und Häufigkeitsverteilung und wenden sie an;
- die Schüler vervollkommnen ihre Fähigkeiten im bewußten Anwenden mathematischer Hilfsmittel.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Anordnung der Teilchen (E)	Vergleichen von realem und idealem Gas (SSA; K) Demonstrieren von Anordnungen für 4 Teilchen des Modellgases auf 2 Flächenbereiche (DE, LB S. 50)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
10 min	Definieren des Begriffs (LV; TB 67/1 a) Lösen von Aufgabe 1 (LB, S. 51) (SSA) Begründen des zufälligen Charakters einer momentanen Anordnung (SSA)
Unter einer Anordnung wird in diesem Zusammenhang jede räumliche Verteilung von N Teilchen auf zwei gleichgroße Teilbereiche eines abgeschlossenen Raumes verstanden. Das Eintreten einer bestimmten Anordnung ist ein zufälliges Ereignis.	
(2) Absolute Häufigkeit und Häufigkeitsverteilung (E) 20 min	Demonstrieren von 20 Anordnungen von 4 Teilchen (in 10er-Schritten) (DE, LB, S. 50) Erfassen der Anordnungen in einer Strichliste und einer Tabelle (UG; TB 67/1 b) Definitorisches Festlegen der Begriffe (LV)
Für ein Vier-Teilchen-System existieren fünf diskrete Anordnungen. Die absolute Häufigkeit einer Anordnung ist die Anzahl des Auftretens dieser Anordnung innerhalb einer Meßreihe. Die geordnete Zusammenstellung der (absoluten) Häufigkeiten der Anordnungen wird als Häufigkeitsverteilung bezeichnet.	
(3) Eigenschaften der Häufigkeitsverteilung (E, Fst) 15 min	Darstellen der Häufigkeitsverteilung in einem Histogramm (UG; TB 67/1 c) Bestätigen erkannter Regelmäßigkeiten durch eine 2. Meßreihe in zwei 10er-Schritten (SSA) Zeichnen und Diskutieren der Häufigkeitsverteilung (SSA) Ermitteln von drei weiteren 10er-Meßreihen (SSA)
Die Regelmäßigkeit in der Häufigkeitsverteilung deutet auf eine Gesetzmäßigkeit hin, die der Teilchenbewegung zugrunde liegt.	

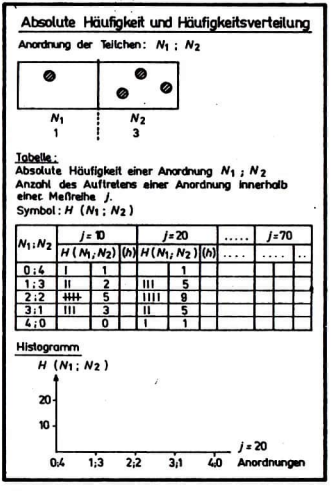
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die Experimentieranordnung wird exakt justiert (waagerechte Ebene). Ein unmagnetischer Stab halbiert die Luftkissenfläche optisch. Die magnetischen Schwebekörper werden mit der Hand in Bewegung gesetzt. Durch Abziehen des Schlauches vom Luftkissenaufsatz oder vom Gebläse nach etwa 5 s werden einzelne Anordnungen demonstriert. Mit dem empirischen Vorgehen werden die Betrachtungen zu den zufälligen Ereignissen objektiviert und die Notwendigkeit des Einführens der Begriffe sowie der Denk- und Arbeitsschritte einsichtig (2. Schritt der Problemlösung).

(2) Damit die Schüler die Notwendigkeit des Einführens dieser Begriffe erkennen, sollte die empirische Basis durch Bezüge zum Würfeln oder Münzwerfen erweitert werden.

(3) In der Diskussion des Verlaufs der Verteilungskurve sollen die Schüler erkennen, daß eine gewisse Regelmäßigkeit vorliegt. Daraus kann jedoch noch keine Gesetzmäßigkeit abgeleitet werden. Es sind auch andere Häufigkeitsverteilungen möglich (Würfeln: Annähernd gleiche Häufigkeiten bei großen Versuchszahlen). Deshalb wird eine zweite (Kontroll-)Meßreihe von den Schülern durchgeführt und ausgewertet. Die weiteren Meßreihen sollen die Erkenntnis der Regelmäßigkeit festigen helfen. Dazu ist auch das Zeichnen von Histogrammen als Hausaufgabe geeignet.

Tafelbild
Bild 67/1



a
b
c

4. Stunde: Relative Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Begriffe der relativen Häufigkeit sowie der Wahrscheinlichkeit einer Anordnung;
- besitzen erste Fähigkeiten im Interpretieren einer Wahrscheinlichkeitsverteilung als statistisches Gesetz und im stochastischen Denken;
- kennen die wichtigsten Denk- und Arbeitsschritte statistischer Betrachtungen;
- erlangen vertiefte Einsicht in die Erkennbarkeit der Welt, indem sie erfahren, wie statistische Gesetze erkannt werden können.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Begriff der relativen Häufigkeit (E) 15 min	Erarbeiten einer Vergleichsmöglichkeit für unterschiedliche Meßreihen (Versuchsbedingungen konstant) (SSA) Definieren des Begriffs (UG; TB 69/1a) Ermitteln der relativen Häufigkeiten für die Meßreihen $j = 10, \ldots, 70$ (SSA) Zeichnen und Diskutieren eines Histogramms (SSA; TB 69/1b)

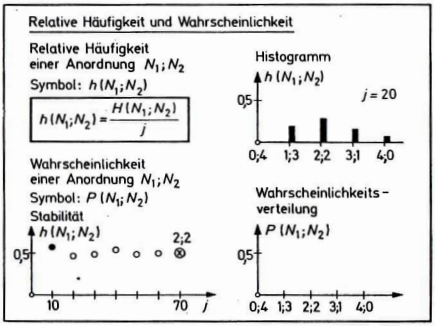
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Die relative Häufigkeit einer Anordnung ist der Quotient aus absoluter Häufigkeit und der Gesamtanzahl der Messungen einer Meßreihe. Sie gibt den Anteil einer Anordnung an der Gesamtheit der Meßwerte an. Es wird ein Vergleich von Meßreihen mit unterschiedlicher Anzahl der Messungen möglich.	
(2) Begriff der Wahrscheinlichkeit (E) **10 min**	Nachweisen der Stabilität der relativen Häufigkeit für eine Anordnung mit wachsender Anzahl der Messungen (UG; TB 69/1 c) Ermitteln der Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Anordnungen (SSA)
Die konstante Zahl, der sich die relative Häufigkeit einer Anordnung bei hinreichend großer Anzahl von Messungen nähert, heißt (empirische) Wahrscheinlichkeit dieser Anordnung.	
(3) Statistisches Gesetz der flächenhaften Verteilung der Modellgasteilchen (E) **10 min**	Zeichnen und Diskutieren der Wahrscheinlichkeitsverteilung (SSA; TB 69/1 d) Interpretieren der Wahrscheinlichkeitsverteilung als statistisches Gesetz (UG) Vergleichen dynamischer und statistischer Gesetze (UG)
Die stabile Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anordnungen der Modellgasteilchen spiegelt ein statistisches Gesetz wieder. Es können erstens Aussagen über das notwendige Verhalten einer hinreichend großen Menge zufällig eintretender Anordnungen als Ganzes und zweitens Aussagen über die Wahrscheinlichkeiten dieser Anordnungen selbst getroffen werden.	
(4) Denk- und Arbeitsschritte statistischer Betrachtungen (Fst) **10 min**	Erläutern der wesentlichen vollzogenen Denk- und Arbeitsschritte (UG) Verallgemeinern dieser Schritte (LV) Erteilen der HA (Würfelexperiment)
Wesentliche Denk- und Arbeitsschritte statistischer Betrachtungen: Zufallsgröße und ihre möglichen Werte bestimmen, absolute und relative Häufigkeiten ermitteln, Wahrscheinlichkeitsverteilung bestimmen und statistisches Gesetz formulieren.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Den Schülern ist am Datenmaterial deutlich zu machen, daß die mit wachsender Anzahl zufälliger Ereignisse immer bessere Annäherung der relativen Häufigkeiten an die Werte der Wahrscheinlichkeit als **Tendenz** zu verstehen ist. Im Einzelfall kann durchaus eine größer werdende Abweichung auftreten. In der Beschreibung des Sachverhaltes darf demnach **nicht** der mathematische Grenzwertbegriff verwendet werden.

(3) **Beide** oben genannten Aspekte des statistischen Gesetzes müssen die Schüler durch konkrete Angaben zum Vier-Teilchen-System inhaltlich erfassen. Der Vergleich zum dynamischen Gesetz (WiPh, S. 24; LB, S. 55) soll zunächst nur diese neue Qualität verdeutlichen.

(4) Zur ersten Überprüfung der Übertragbarkeit der erkannten Denk- und Arbeitsschritte auf andere zufällige Ereignisse erarbeiten die Schüler im Hausexperiment das statistische Gesetz der Verteilung der Augenzahl beim Würfeln.
Meßreihen:
$j = 100, 200, \ldots, 600$. Nachweis des Stabilisierungseffektes mit Hilfe des Diagramms nur für das Würfeln einer Augenzahl (jede Bank- bzw. Sitzreihe eine Augenzahl).



a	b
c	d

Tafelbild
Bild 69/1

5. Stunde: Statistisches Gesetz der räumlichen Verteilung der Teilchen des idealen Gases

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß der Gleichverteilungszustand der N Teilchen des idealen Gases der Zustand größter Wahrscheinlichkeit ist und daß extrem ungleichmäßige Anordnungen äußerst unwahrscheinlich sind;
- entwickeln ihre Fähigkeiten im stochastischen Denken und im gewissenhaften Verallgemeinern von empirisch gewonnenen Aussagen weiter.

Unterrichtsmittel

FO: Pascalsches Dreieck (selbst gefertigt)
DE: Hafttafel, 4 verschiedenfarbige oder numerierte Manipermmagnete

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Kennzeichnen der Anordnungen des Vier-Teilchen-Systems durch die Anzahl der Realisierungen (E) 20 min	Kontrolle der HA (UG) Lösen von LB-Aufgaben zum Vier-Teilchen-System (LB, S. 53, Nr. 2, 4, 5 oder 6) (SSA; K) Begründen des Ortsverhaltens der vier Teilchen mit Hilfe der Anzahl der Realisierungen einer Anordnung (LB, DE) Ermitteln der Realisierung von Anordnungen für ein, zwei und drei Teilchen (SSA)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Zu jeder Anordnung existiert eine bestimmte Anzahl von Realisierungen. Je höher die Anzahl der Realisierungen einer Anordnung ist, desto größer ist auch ihre Wahrscheinlichkeit.	
(2) Wahrscheinlichkeitsverteilung der Anordnungen für das ideale Gas (Fst) **5 min**	Ermitteln der Realisierungen für fünf Teilchen (SSA; FO) Qualitatives Ermitteln der Wahrscheinlichkeitsverteilung (UG; FO)
Die Wahrscheinlichkeitsverteilungen für vier Teilchen des Modellgases und für N Teilchen des idealen Gases sind miteinander verwandt.	
(3) Statistisches Gesetz der räumlichen Verteilung der Teilchen des idealen Gases (Fst) **10 min**	Beschreiben der Merkmale der Wahrscheinlichkeitsverteilung (UG; TB) Verallgemeinern der Aussagen für eine feinere Teilung des Raumes (LV) Formulieren des statistischen Gesetzes (UG)
1. Die Gleichverteilung der Teilchen des idealen Gases besitzt die größte Wahrscheinlichkeit. Geringfügige Abweichungen von der Gleichverteilung sind fast ebenso wahrscheinlich. Extreme Abweichungen besitzen eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit. 2. Das ideale Gas befindet sich praktisch im Zustand der Gleichverteilung der Teilchen.	
(4) Vertiefen des Inhalts des Gesetzes (Fst) **10 min**	Erläutern des Begriffs der Teilchendichte (LV) Lösen der Aufgaben (LB, S. 55, Nr. 1, 2; SSA) Formulieren des Gesetzes mit Hilfe dieses Begriffes (SSA) Erteilen der HA zur 6. Stunde und eines SV zur 8. Stunde

Erläuterungen zum Stundenverlauf

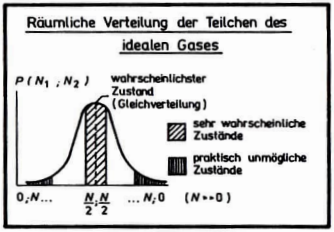
(1) Durch schrittweises Umordnen der vier markierten Teilchen werden die Realisierungen der Anordnungen demonstriert und der Zusammenhang zu den Wahrscheinlichkeitswerten qualitativ erhellt. Die Schüler ermitteln die Realisierungen für ein, zwei und drei Teilchen; der Lehrer blendet den entsprechenden Teil des Pascalschen Dreiecks ein.

(2) Die Aussagen, die für das Vier-Teilchen-System getroffen wurden, können nicht sofort auf das ideale Gas übertragen werden. Mit der sehr hohen Teilchenanzahl verändern sich die Systembedingungen. Die Überlegungen von (1) werden auf wachsende Teilchenanzahl (siehe Folie) angewandt.

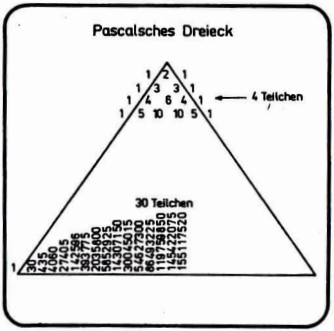
(3) Beim Formulieren des statistischen Gesetzes müssen beide Aspekte (siehe Stundenverlauf) deutlich herausgearbeitet werden. In der Herleitung des Volumen-Druck-Gesetzes wird jedoch nur auf den 2. Aspekt (dynamischer Aspekt) zurückgegriffen. Die Schwankungsproblematik wird erst in der 8. Stunde näher erläutert.

(4) Hausarbeit in Vorbereitung auf die nächste Stunde:
Beschreiben von (drei) Diffusionsvorgängen in der Natur und Technik (LB, S. 64, hierzu sind die entspr. Problemfragen gezielt einzusetzen, WiPh).
Schülervortrag:
Bedeutung der Brownschen Bewegung für die Entwicklung der Molekulartheorie.
Literatur: Kitaigorodski, A.: Unwahrscheinliches – möglich oder unmöglich. Verlag MIR Moskau, VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1977, S. 143 bis 145, S. 153 bis 161 und S. 166 bis 170.

Tafelbild
Bild 71/1



Folie
Bild 71/2



6. Stunde: Irreversible Zustandsänderungen

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß irreversible Zustandsänderungen Vorgänge sind, die stets in Richtung der Zustände mit höherer Wahrscheinlichkeit ablaufen;
- vervollkommnen ihre Fähigkeiten im Beobachten, Beschreiben, Erklären und Voraussagen physikalischer Erscheinungen und Prozesse am Beispiel der Diffusion von Gasen durch eine poröse Trennwand;
- vertiefen die Einsicht in den objektiven Charakter (dynamischer und) statistischer Gesetze.

Unterrichtsmittel

DE 1: Fadenpendel bzw. Federschwinger
DE 2: PSV 11 V 1.2.2.
DE 3: PSV 3/4/5 V 3.4.9.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Überlegungen zur Raumerfüllung des idealen Gases (Fst, K) **5 min**	Voraussagen des zeitlichen Verhaltens des idealen Gases, dessen Teilchen infolge äußerer Wechselwirkung die Anordnung N;O bilden (SSA; TB 73/1 a)
Am Verhalten des idealen Gases läßt sich zeigen, daß die Teilchen nach einer äußeren Wechselwirkung im zeitlichen Verlauf selbständig von einem wenig wahrscheinlichen (geordneten) Zustand zum wahrscheinlichsten (ungeordneten) Zustand (Gleichverteilungszustand) übergehen. In diesem Zustand bzw. Zuständen, die nur wenig vom wahrscheinlichen Zustand abweichen, verbleibt es, wenn keine Wechselwirkungen mit der Umgebung auftreten.	
(2) Begriff der irreversiblen Zustandsänderung (E) **10 min**	Demonstrieren einer gedämpften Schwingung (DE 1) und des Lösens von Zucker (DE 2, PSV 11, V 1.2.2.) Beschreiben der Vorgänge (SSA) Erörtern der Gemeinsamkeiten (UG) Bilden des Begriffs (LV) Beschreiben weiterer Beispiele für irreversible Prozesse (SSA; HA) (TB 73/1 b)
Irreversible Zustandsänderungen sind Vorgänge, die in Richtung der Zustände mit höherer Wahrscheinlichkeit ablaufen. Eine Rückkehr in den Ausgangszustand ist ohne Energiezufuhr nicht möglich.	
(3) Diffusion von Gasen (Fst) **15 min**	Beobachten, Beschreiben und Erklären des ersten Teils des Diffusionsexperimentes (LB, S. 56/57; DE 3, PSV 3/4/5, V 3.4.9., SSA) Voraussagen der Erscheinungen beim zweiten Teilexperiment (SSA)
Die Über- bzw. Unterdruckerscheinung im Tonzylinder ist auf Diffusionsvorgänge, die in entgegengesetzter Richtung und mit unterschiedlicher Geschwindigkeit verlaufen, zurückzuführen.	
(4) Bedeutung der Diffusion (Fst) **10 min**	Beschreiben von Diffusionsvorgängen in der Natur und Technik (SSA; Kontrolle der HA) Einschätzen der Bedeutung der Diffusion (UG)
Die Diffusion stellt die Grundlage der Nahrungsaufnahme und der Atmung der Lebewesen dar und wird vielseitig technisch genutzt (LB, S. 64).	
(5) Objektiver Charakter (dynamischer und) statistischer Gesetze (Fst) **5 min**	Erläutern des erfolgreichen Anwendens erkannter Gesetze (Diffusion, Raumfahrt usw., LV) Schließen auf ihre vom Bewußtsein unabhängige Realität (UG)
Die bewußte, zielstrebige und erfolgreiche Veränderung der Natur im Interesse des Menschen auf der Grundlage erkannter (dynamischer und) statistischer Gesetze ist ein Beleg für den objektiven Charakter dieser Gesetze.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

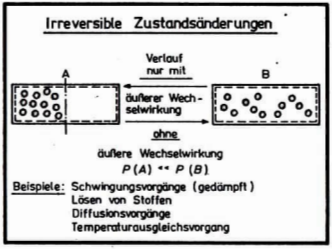
(1) Bevor die Schüler konkrete Voraussagen treffen, müssen sie mit dem Charakter von Voraussagen, die auf der Basis statistischer Gesetze getroffen werden können, vertraut gemacht (LB, S. 55 und 56) werden.
Die Luftkissenapparatur kann zur Deutung eingesetzt werden, wenn man sich eine Magnetleiste zum Halbieren der Fläche anfertigt (PSV 1, V. 1.3.6.).

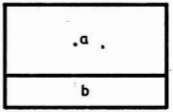
(2) Durch Hinweise auf weitere richtungsgebundene Vorgänge, wie z.B. der Temperaturausgleichsvorgang (er wird später ausführlich behandelt) und das Springen einer Stahlkugel, kann die empirische Basis für die Begriffsbildung erweitert werden.

(3) Der erste Teil des Versuches ist für eine problemhafte Unterrichtsgestaltung als Überraschungsversuch einzusetzen. Hinweise auf den Diffusionsbegriff (siehe WiPh) und die massenabhängige Diffusionsgeschwindigkeit sind als Führungselemente des Problemlösungsprozesses einzusetzen. Zur modellmäßigen Veranschaulichung des Diffusionsvorganges kann auch der Kassettenfilm KF — 25 „Diffusion von Gasen" eingesetzt werden.

(4) Da die Mikroelektronik ein Kernproblem unserer weiteren wissenschaftlich-technischen Entwicklung ist, kann dieses Anwendungsgebiet der Diffusion im problemhaften LV ausführlicher behandelt werden (siehe PhiS 16 1978 3, S. 86ff.).

Tafelbild
Bild 73/1





7. Stunde: Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Eigenschaften der Energie- und Geschwindigkeitsverteilung des idealen Gases und können sie als statistisches Gesetz interpretieren;
- deuten die mittlere kinetische Energie der Teilchen als Kenngröße der Energieverteilung;
- vervollkommnen ihre Fähigkeiten im Anwenden der Modellmethode und der Denk- und Arbeitsschritte kinetisch-statistischer Betrachtungen.

Unterrichtsmittel

DE 1: Schüttelapparat, Zusatzgerät zum Schüttelapparat (Statistikrahmen), Universal-Experimentiermotor, 150 Stahlkugeln, V-Fuß, Tischklemme

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Zusammenfassen wichtiger Sach- und Methodenkenntnisse (W) **10 min**	Lösen von Aufgaben und Beantworten von Fragen (LB, S. 55, SSA, K), Einschätzen der Brauchbarkeit der verwendeten Erkenntnismethoden (UG)
Die Modellmethode und statistische Betrachtungen haben sich als geeignet erwiesen, ein spezielles statistisches Gesetz, das der Teilchenbewegung zugrunde liegt, zu erkennen. Dieses Gesetz ermöglicht das Erklären bestimmter Eigenschaften realer Gase (konstante Dichte, Diffusion).	
(2) Kinetische Energie der Teilchen als statistisches Problem (Fst) **5 min**	Begründen des zufälligen Charakters der kinetischen Energie einzelner Teilchen (SSA) Erörtern des statistischen Ansatzes und des Einsatzes der Modellmethode mit LB S. 57 und 58 (SSA/UG)
Es ist unmöglich, die Bewegung aller einzelnen Teilchen zu verfolgen und auszuwerten. Deshalb wird die Verteilung der kinetischen Energie des Teilchensystems auf die Teilchengesamtheit ermittelt. Die Anwendung der Denk- und Arbeitsschritte statistischer Betrachtungen auf Modellgasteilchen ermöglicht qualitative Einblicke in das statistische Gesetz.	
(3) Merkmale der Wahrscheinlichkeitsverteilung der kinetischen Energie bzw. der Geschwindigkeit der Teilchen des idealen Gases (E) **25 min**	Demonstrieren der Häufigkeitsverteilung der Energie des Modellgases (DE 1, LB, S. 58) Beschreiben der Eigenschaften der Häufigkeitsverteilung (SSA) Zeichnen eines Histogrammes (qualitativ) (SSA; TB 75/1 a) Übertragen der Erkenntnisse auf das ideale Gas (Energieverteilung) (LV; TB 75/1 b) Erläutern des Zusammenhanges zwischen Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases und deren Geschwindigkeitsverteilung (SSA) Hinweisen auf den STERN-Versuch zur experimentellen Bestätigung (LV) Diskutieren der Geschwindigkeitsverteilung für Stickstoffmoleküle (LB S. 58, Bild 58/3, UG)
Für das ideale Gas (ohne äußere Wechselwirkung) existiert eine stabile unsymmetrische Energie- bzw. Geschwindigkeitsverteilung. Die Teilchen haben unterschiedliche Energie bzw. Geschwindigkeit.	
(4) Mittlere kinetische Energie (Fst) **5 min**	Motivieren des Begriffs (LV) Herleiten der Gleichung aus der Häufigkeitsverteilung (SSA; TB 75/1 c)
Die mittlere kinetische Energie ist eine Kenngröße der Energieverteilung. Sie vermittelt eine gewisse Orientierung über das Gesamtverhalten aller Teilchen und läßt sich berechnen nach der Beziehung $\overline{E_{\text{kin}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_i \cdot \Delta E_i}{N}$	

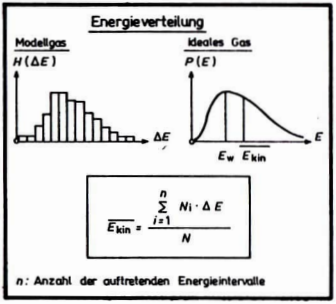
Erläuterungen zum Stundenverlauf

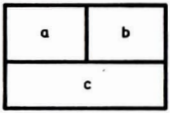
(2) Den Schülern muß aus erkenntnistheoretischer Sicht bewußt werden, daß das Anwenden des Wissens über zufällige Ereignisse mit großen Häufigkeiten keine Verlegenheitslösung für das Erklären und Voraussagen von Tatsachen im makroskopischen Bereich, sondern der einzig mögliche und erfolgreiche Weg ist (Ablehnung der mechanistischen Interpretation des gesamten Naturgeschehens).

(3) Die Denk- und Arbeitsschritte kinetisch-statistischer Betrachtungen sind bis hin zur Wahrscheinlichkeitsverteilung und deren Interpretation in verkürzter Form anzudeuten.

(4) Anhand einiger Statistiken ist den Schülern bewußt zu machen, daß es zum näherungsweisen Kennzeichen einer stochastischen Verteilung oft ausreichend ist, den Mittelwert der ermittelten Werte für die Zufallsgröße anzugeben.

Tafelbild
Bild 75/1





8. Stunde: Folgerungen aus der räumlichen Verteilung und der Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den Begriff der inneren Energie aus kinetisch-statistischer Sicht;
- sollen ihre Kenntnisse über die Energie- und Geschwindigkeitsverteilung anwenden können.

Unterrichtsmittel

DE 1: Experimentierleuchte, Laufschiene, Blendrahmen mit Linsen $f = +100$ mm und $f = +250$ mm, Becherglas mit Wasser, Prismentisch, Glasküvette, glitzerndes Metallpulver (Messing oder Aluminium), Stück Pappe, Glasplatte

DE 2: PSV 11 V 1.3.2./1 oder V 1.3.6./2

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Innere Energie aus kinetisch-statistischer Sicht (Fst) **5 min**	Nennen der Begriffsmerkmale (LB Ph Kl. 8, SSA/UG) Konkretisieren für das ideale Gas unter Berücksichtigung der Energieverteilung (UG) Herleiten der Gleichung 49 (LB S. 59)
Die innere Energie des idealen Gases ist gleich der Summe der kinetischen Energie (Translationsenergie) aller Teilchen des idealen Gases $\left(U = \sum_{i=1}^{n} N_i \cdot \Delta E_i\right)$. Es gilt: $U = N \cdot \overline{E_{kin}}$.	
(2) Der Zusammenhang zwischen $\overline{E_{kin}}$ und $\overline{v^2}$ (Fst) **10 min**	Herleiten der Beziehung mit Aufgabe 5 S. 59 (SSA) Hinweisen auf die Beziehung $v_w^2 < \bar{v}^2 < \overline{v^2}$ (LV)
Zwischen mittlerer kinetischer Energie und mittlerem Geschwindigkeitsquadrat der Teilchen des idealen Gases besteht die Beziehung $\overline{E_{kin}} = \frac{m}{2}\overline{v^2}$	
(3) Brownsche Bewegung als statistische Schwankungserscheinung (E) **20 min**	Demonstrieren der realen Brownschen Bewegung (DE 1) Beschreiben und Erklären der Brownschen Bewegung (SSA) Demonstrieren der Brownschen Bewegung im Modellexperiment (DE 2, PSV 11, V 1.3.2./1 oder V 1.3.6./2) Einführen des Begriffs der Schwankungserscheinung (LV) Erörtern weiterer Beispiele mit LB S. 59 und 60 (SSA)
Bei der Brownschen Bewegung treffen die sehr kleinen Gas- bzw. Flüssigkeitsteilchen auf größere feste Teilchen. Die Anzahl und die kinetische Energie der auftreffenden Teilchen unterliegt Schwankungen um entsprechende Mittelwerte innerhalb eines teilchenanzahlabhängigen Schwankungsbereichs. Die festen Teilchen bewegen sich deshalb unregelmäßig.	
(4) Bedeutung der Brownschen Bewegung für die Theoriebildung (Fst) **10 min**	Schildern der Entdeckung von J. Brown und der quantitativen Untersuchungen von J. Perrin (SV) Lit.: 5. Stunde (4)
Die Brownsche Bewegung spielte eine bestimmende Rolle für die Entwicklung der Molekulartheorie.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Beim Reaktivieren des Begriffs der inneren Energie aus molekularkinetischer Sicht müssen die Schüler alle Arten der kinetischen Energie (Schwingungs-, Rotations- und Translationsenergie) nennen, damit die Gültigkeitsgrenzen des idealen Gases deutlich werden.

(2) Vor der Herleitung der Beziehung sind Hinweise zur Arbeit mit dem Summenzeichen zu geben.

(3) Der Vorteil des vorgeschlagenen Realexperimentes zur Brownschen Bewegung liegt in der gleichzeitigen Beobachtungsmöglichkeit für alle Schüler und im geringen experimentellen Aufwand. Versuchsaufbau siehe Bild 77/1.

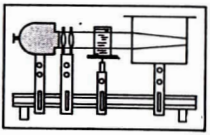


Bild 77/1

In einer Glasküvette wird glitzerndes Messing- oder Aluminiumpulver aufgewirbelt. Die Küvette wird mit einer Glasplatte abgedeckt und nach etwa 10 min im verdunkelten Raum von der Seite beleuchtet. Es ist ein Aufblitzen aufgrund der Brownschen Bewegung der Rotation zu beobachten. Nach etwa 20 min Wartezeit wird der Versuch noch einmal gezeigt. Die Schüler erhalten den Auftrag (Hausaufgabe), das lichtschwächere, aber wesentlich häufigere Aufblitzen zu erklären. Das Modellexperiment mit dem Schüttelapparat ist mit einer **Korkkugel** sehr anschaulich. Es kann auch K-F 62 „Brownsche Bewegung" eingesetzt werden.

9. Stunde; Druck des idealen Gases

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß der Druck auch als statistische Größe deutbar ist;
- sollen die Annahmen für die Herleitung des Druckes des idealen Gases als berechtigt anerkennen und die Druckgleichung interpretieren können;
- vervollkommnen ihre Fähigkeiten im selbständigen Notieren des Wesentlichen aus einem Vortrag und im Interpretieren physikalischer Größengleichungen.

Unterrichtsmittel

DE 1: Briefwaage (ohne Schale), Gefäß (Trichter) mit Stahlkugeln, Tablett
DE 2: Schüttelapparat mit beweglichem Stempel, Druckkraftmesser, Stahlkugeln (etwa 400, ∅ 4 mm), Universal-Experimentiermotor, V-Fuß, Tischklemme,
DE 3: Hafttafel, Manipermmagnete

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Gadruck aus kinetisch-statistischer Sicht (Fst) 10 min	Bekräftigen der Langzeitmotivation aus der 2. Stunde (1) und Orientieren auf das neue Ziel (LV) Demonstrieren von Modellexperimenten zur Deutung des Gasdrucks (DE 1 oder DE 2)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Durch das ständige Auftreffen zahlreicher Teilchen auf die Gefäßwände entsteht der Gasdruck. Die Teilchenstöße auf die Wände erfolgen unregelmäßig. Der Gasdruck entspricht dem statistischen Mittel aller Stöße.	
(2) Annahmen für die Herleitung der Druckgleichung (Fst) **10 min**	Darstellen der Annahmen (LV) Begründen der Annahmen (UG)
Die wichtigsten Annahmen ergeben sich aus den Gesetzen der räumlichen Verteilung und der Energieverteilung des idealen Gases.	
(3) Der Druck des idealen Gases (E) **25 min**	Herleiten der Druckgleichung (LV) Notieren des Wesentlichen (SSA) Interpretieren der Druckgleichung (UG)
Der Druck des idealen Gases wird durch die Teilchenanzahldichte und die mittlere kinetische Energie seiner Teilchen festgelegt. Die Zustandsgröße Druck ist auf den Mittelwert einer Teilchengröße zurückzuführen.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Diese und die folgende Stunde bilden den Höhepunkt der Stoffeinheit (vgl. Vorbemerkungen zur Stoffeinheit Seiten 57 und 58).
Im Mittelpunkt dieser Stunde steht das Herleiten der Druckgleichung für das ideale Gas. Dazu werden wiederholend qualitative Betrachtungen zum Wesen des Gasdruckes durchgeführt sowie Annahmen aus kinetisch-statistischer Sicht formuliert. Wegen der Wichtigkeit dieser Stunde werden detaillierte methodische Hinweise gegeben.

(1) Durch das Demonstrieren des Auftreffens von Stahlkugeln auf eine Briefwaage oder auf den beweglichen Stempel des Schüttelapparates wird eine **Problemsituation** organisiert. Die Analyse ergibt das Folgende:
Überaus zahlreiche Teilchen bewegen sich völlig regellos mit den unterschiedlichsten Geschwindigkeiten (auf Betrag und Richtung bezogen!) in einem abgeschlossenen Gefäß. Sie stoßen gegeneinander und auf die Gefäßwände.
Problemstellung: Kann man den Druck berechnen, der sich aus den Stößen der Teilchen auf die Gefäßwände ergibt?

(2) Der erste Schritt des **Problemlösens** kann folgendermaßen gestaltet werden:
Dieses Problem erscheint dem Laien als unlösbar. Der Wissenschaftler vermag es dadurch zu lösen, daß er es schrittweise unter Berücksichtigung erkannter Gesetze (Annahmen A_2 und A_4: Lehrbuch Seite 60) vereinfacht. Jede Vereinfachung muß so beschaffen sein, daß sie zwar theoretische Beschreibung erleichtert, den physikalischen Sachverhalt aber nicht nennenswert verändert. Die jeweilige Vereinfachung ist mit den Annahmen A_1 und A_3 deutlich ausgedrückt; die Berechtigung hierzu jedoch meist weniger erläutert. Es sollte deshalb am Beispiel einer Annahme deutlich herausgearbeitet werden, **warum** die Vereinfachung zu keiner Verfälschung des Sachverhaltes führt.
So wäre zur Annahme A_3 folgendes zu bemerken:
Da sich das ideale Gas in einem abgeschlossenen Würfel befindet (A_1), liegt aus phänomenologischer Sicht ein ruhendes Gas vor. Kinetisch-statistisch bedeutet dies, daß sich die Tangentenkomponenten der Kräfte, die von Teilchen auf die

Wände übertragen werden, aufheben müssen. Entscheidend für die Druckberechnung sind demnach die Normalkomponenten der Kräfte. Deshalb ist es möglich und zweckmäßig, die ungeordnete Bewegung der Teilchen als eine in 6 Richtungen geordnete Bewegung aufzufassen.

(3) Bei längerem entwickelndem Lehrervortrag sind folgende Gesichtspunkte zu beachten:

- Als Orientierungsgrundlage werden die Teilschritte zurückschreitend von der Definitionsgleichung des Drucks vorgestellt.
- Das Wissen über die Kraft ($F = \Delta p/\Delta t$) ist gründlich zu wiederholen. Die Beziehung $p = 2\,m \cdot v$ ist abzusichern.
- Das Einfließen der Annahmen in die mathematisch-physikalischen Beziehungen muß zur Kennzeichnung der Gültigkeitsgrenzen besonders hervorgehoben werden.

Der Vortrag ist durch die Demonstration der Teilchenbewegung an der Hafttafel anschaulicher zu gestalten und durch Teilzusammenfassungen deutlich zu unterbrechen.
(Variante: Herleitung mit einer angenommenen konstanten Geschwindigkeit.)
Für das Interpretieren der Druckgleichung sind die in den Vorbemerkungen genannten Aspekte zu berücksichtigen.

10. Stunde: Volumen-Druck-Gesetz

Stundenziele

Die Schüler

- sollen das Volumen-Druck-Gesetz für das abgeschlossene ideale Gas selbständig mathematisch formulieren und interpretieren können;
- sollen die Gültigkeitsgrenzen des Gesetzes angeben können;
- können das Volumen-Druck-Gesetz zum näherungsweisen Berechnen der mittleren Teilchengeschwindigkeit anwenden.

Unterrichtsmittel

DE 1: Schüttelapparat mit beweglichem Stempel, Druckkraftmesser, Stahlkugeln (etwa 400, ∅ 4 mm), Universal-Experimentiermotor, V-Fuß, Tischklemme, Stativmaterial

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Volumen-Druck-Gesetz (E) 15 min	Herleiten des Gesetzes (SSA; TB 81/1 a) Interpretieren der Gleichung 59 (LB, S. 62, SSA) Nachweisen der Konstanz des Produktes (SSA; TB 81/1 b) Deuten des Gesetzes (DE 1, siehe Experimentieranleitung zum Schüttelapparat)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Die Herleitung des Volumen-Druck-Gesetzes auf unterschiedlichen Wegen (empirisch und theoretisch) zeigt, daß die phänomenologische und die kinetisch-statistische Betrachtungsweise für die Erkenntnis objektiver Gesetze geeignet sind.	
(2) Gültigkeitsbereich des Volumen-Druck-Gesetzes (E) **5 min**	Diskutieren des Volumen-Teilchenanzahl-Verhältnisses (UG)
Die Gültigkeitsgrenzen aus kinetisch-statistischer Sicht sind durch extrem große und kleine Teilchenanzahlen im gegebenen Volumen gesetzt. Im ersten Fall sind die Packungen der Teilchen so dicht, daß die Wechselwirkungen zwischen den Teilchen nicht mehr vernachlässigt werden können. Im zweiten Fall verliert das Gesetz seinen physikalischen Sinn.	
(3) Mittlere Teilchengeschwindigkeit eines Gases (Fst) **25 min**	Herleiten und Interpretieren der Beziehung zwischen mittlerer Geschwindigkeit der Moleküle, Druck und Dichte eines Gases (Aufgabe 5 LB, S. 63; SSA; TB 81/1 c) Lösen von Aufgabe 6 (LB, S. 63, SSA) Vergleichen von Teilchengeschwindigkeiten (Tabelle 63/1, LB, S. 63, SSA) Begründen der unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeträge (UG)
Die Erkenntnis des Volumen-Druck-Gesetzes versetzt den Menschen in die Lage, mikrophysikalische Größen über die Messung makrophysikalischer Größen zu berechnen.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Mit dem Formulieren des Volumen-Druck-Gesetzes wird der Nachweis erbracht, daß Gesetze der phänomenologischen Thermodynamik durch kinetisch-statistische Betrachtungen hergeleitet werden können. Gültigkeitsbetrachtungen aus kinetisch-statistischer Sicht sollen den physikalischen Sinn des Volumen-Druck-Gesetzes verdeutlichen. Am Beispiel des Berechnens der mittleren Geschwindigkeit von Wasserstoffmolekülen mit Hilfe des Volumen-Druck-Gesetzes werden das Ermitteln mikrophysikalischer Größen über das Messen makrophysikalischer Größen dargestellt und die Bedeutung dieses Erkenntnisweges betont.

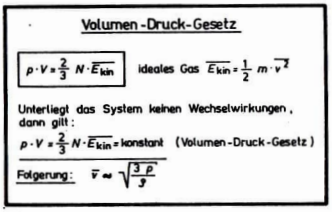
(1) Damit die Schüler den Übergang von der Druckgleichung zum Volumen-Druck-Gesetz selbständig vollziehen können, ist es notwendig, die Zielstellung aus der zweiten Stunde nochmals zu reaktivieren und die bisherigen Ergebnisse zusammenzufassen.

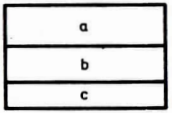
(2) Viel Wert ist auf die Diskussion der Gültigkeitsgrenzen des am Modell des idealen Gases gewonnenen Volumen-Druck-Gesetzes zu legen. Es muß vermieden werden, daß die Schüler kritiklos ihre Erkenntnisse auf reale Gase übertragen.
Im Falle dichter Packungen der Teilchen (hohe Drücke, starke Wechselwirkungen) sollen die Schüler die Notwendigkeit des Erarbeitens anderer Modelle und statistischer Betrachtungen erfassen, ohne daß die Begriffe Quantenmechanik und -statistik erläutert werden.

(3) Den Schülern wird zielorientierend deutlich gemacht, daß die verbleibende Zeit der Stoffeinheit für das weitere Sichern und Festigen der erkannten Gesetze genutzt wird. Dazu werden Folgerungen abgeleitet und bestätigt.
Am Beispiel des Berechnens der mittleren Teilchengeschwindigkeit von Wasser-

stoffmolekülen ist die Leistungsfähigkeit der kinetisch-statistischen Betrachtungsweise deutlich zu würdigen. Die Temperaturangabe in der Aufgabenstellung ist als Motivation für die nächste Stunde zu nutzen. Der Vergleich der Teilchengeschwindigkeit dient dem Herausarbeiten der Massenabhängigkeit der Energieverteilung. Als Hausaufgabe können weitere Teilchengeschwindigkeiten berechnet werden.

Tafelbild
Bild 81/1





11. Stunde: Temperatur des idealen Gases

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß die Temperatur auch als statistische Größe deutbar ist;
- können die Beziehungen zwischen mittlerer kinetischer Energie und Temperatur herleiten;
- sagen (qualitativ) die Veränderung der Energieverteilungskurve bei Temperaturveränderung voraus;
- vervollkommnen ihre Fähigkeiten im stochastischen Denken.

Unterrichtsmittel

AB: Verdunsten

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Druck-Volumen-Gesetz und Wechselwirkung (Fst) **15 min**	Interpretieren des Volumen-Druck-Gesetzes und seiner Gültigkeitsgrenzen (SSA) Erkennen $p \cdot V = \frac{2}{3} N \cdot \overline{E_{kin}} \neq$ konstant bei Wechselwirkung (SSA; TB 82/1 a) Interpretieren der Beziehung (UG)
$p \cdot V = \frac{2}{3} N \cdot \overline{E_{kin}} \neq$ konstant bedeutet, daß das thermodynamische System in Wechselwirkung mit der Umgebung steht. Die Wechselwirkung ist stofflicher Natur, wenn sich die Teilchenanzahl verändert, oder energetischer Natur, wenn sich die mittlere kinetische Energie verändert.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Beziehung zwischen mittlerer kinetischer Energie und Temperatur (Fst) **15 min**	Herleiten und Interpretieren dieser Beziehung (SSA) Deuten der Temperatur als statistische Größe (SSA) Lösen von Aufgaben (siehe Erläuterungen zum Stundenverlauf) (SSA/UG)
Die mittlere kinetische Energie des idealen Gases und die Kelvin-Temperatur sind einander proportional. Die Kelvin-Temperatur wird als statistischer Mittelwert der kinetischen Energie der Teilchen des idealen Gases betrachtet.	
(3) Temperaturabhängigkeit der Energieverteilung (Fst) **15 min**	Voraussagen der Veränderungen der Energieverteilung bei Temperaturveränderung (SSA; TB 82/1 b) Bestätigen durch Demonstrieren von Häufigkeitsverteilungen (DE 1, LB, S. 58) und Erklären des Verdunstungsvorganges aus kinetisch-statistischer Sicht mit AB (UG/SSA)
Bei Temperaturerhöhung (bzw. -verringerung) verschiebt sich die Energieverteilung zu höheren (bzw. kleineren) Energiewerten hin.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Das Diskutieren der Beziehung dient dem Festigen der Erkenntnis, daß jede Veränderung der inneren Energie eines thermodynamischen Systems die Folge von Wechselwirkungen des Systems mit der Umgebung ist.

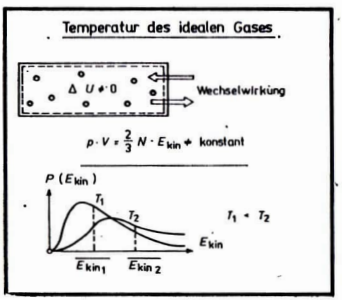
(2) Die Schüler sollen begründen können (auch als Hausarbeit möglich),

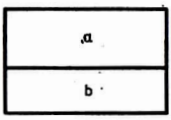
- warum eine schnelle gerichtete Bewegung einer in einem Gefäß eingeschlossenen Gasmenge nicht zur Temperaturerhöhung beiträgt;
- daß einem Gas mit einer sehr geringen Teilchenanzahldichte auf dieser Grundlage keine Temperatur zugeordnet werden kann.

Der physikalische Sinn des absoluten Nullpunktes sollte kurz verdeutlicht werden. Bezogen auf das ideale Gas ist es diejenige Temperatur, bei der die kinetische Translationsenergie und damit die Geschwindigkeit der Teilchen Null wird. Diese Aussage kann nicht auf Stoffe verallgemeinert werden.

Tafelbild

Bild 82/1





(3) Zur experimentellen Bestätigung wird nicht nur auf den STERN-Versuch verwiesen. Es wird der Verdunstungsvorgang untersucht. Wird das Arbeitsblatt eingesetzt, dann sollte der Hinweis zur Bezeichnung der Koordinatenachsen und zur unterschiedlichen Kennzeichnung der Teilchen gegeben werden.
Zur Illustration der Überlegungen wird der Modellversuch aus der 7. Stunde mit unterschiedlichen Drehzahlen des Experimentiermotors wiederholt.

12. Stunde: Thermische Prozesse

Stundenziele

Die Schüler

- vervollkommnen weiter die Fähigkeit des Zurückführens makroskopischer Eigenschaften thermodynamischer Systeme auf mikroskopische Prozesse;
- können ihre Kenntnisse insbesondere zur Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases und über irreversible Zustandsänderungen zum Erklären des Verdampfungsvorganges (Verdunsten und Sieden) sowie des Temperaturausgleichsprozesses anwenden;
- können den Wärmebegriff am Temperaturausgleichprozeß erläutern.

Unterrichtsmittel

DE 1: Schüttelapparat, Stahlkugeln (etwa 300, ∅ 4 mm), Universal-Experimentiermotor, V-Fuß, Tischklemme, Stativmaterial
AB: Temperaturausgleich zwischen zwei Gasen

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Druck und Temperatur als statistische Größen (Fst) **5 min**	Systematisieren der Begriffe (SSA; TB)
Grundbegriffe und Gesetze der Thermodynamik können durch die Berücksichtigung der Teilchenstruktur umfassender verstanden werden.	
(2) Verdampfungsprozeß (Fst) **10 min**	Beschreiben und Erklären des Verdunstens (SSA) Beschreiben und Erklären des Siedens (UG) Deuten der Vorgänge durch ein Modellexperiment (DE 1: siehe Experimentieranleitung zum Schüttelapparat)
Beim Verdampfen spielen Gesetzmäßigkeiten der Teilchenbewegung zwischen der Flüssigkeit und gesättigtem Dampf über der Flüssigkeitsoberfläche sowie zwischen dem gesättigten Dampf und der umgebenden Luft eine wesentliche Rolle.	
(3) Temperaturausgleichsprozeß (Fst) **15 min**	Erklären des Vorganges mit AB (SSA) Erläutern des Wärmebegriffs aus kinetisch-statistischer Sicht (LV/UG)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Das Ausgleichen der Temperatur zwischen zwei Gasen ist ein irreversibler Vorgang, bei dem sich Prozesse im molekularen Bereich abspielen.	
(4) Festigen von Wissen und Können **15 min**	Lösen von Aufgaben zu ausgewählten Lerngegenständen der gesamten Stoffeinheit (SSA/UG) Aufgreifen der Winderhitzerproblematik (LB, S. 46) aus der 2. Stunde und Zusammenfassen der Erkenntnisse auf dem Wege zur Problemlösung (LB, S. 65) (SSA/UG)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Die Schüleraussagen werden durch folgende Fakten und Beziehungen ergänzt:

- Über der Flüssigkeitsoberfläche entsteht eine Schicht gesättigten Dampfes. Es besteht dynamisches Gleichgewicht zwischen Flüssigkeit und Dampf (Anzahl der Teilchen, die die Flüssigkeitsoberfläche verlassen bzw. in die Flüssigkeit zurückkehren, ist gleich groß). Im weiteren Prozeßverlauf können nur noch so viele Teilchen die Flüssigkeit verlassen, wie Teilchen des Wasserdampfes in die umgebende Luft hineindiffundieren.
- Beim Sieden gilt, daß der Dampfdruck gleich dem Luftdruck ist. Damit ist der Wasserdampf in der Lage, die Luft wegzudrücken. Im Innern der Flüssigkeit können sich Dampfblasen bilden.

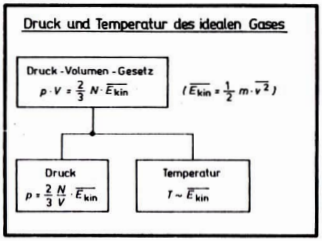
(3) Dieser Prozeß ist geeignet, wesentliche Erkenntnisse dieser Stoffeinheit zur statistischen Betrachtungsweise und zum Wesen statistischer Gesetze zusammenzufassen. Dazu muß folgendes deutlich werden:

- Die Energieübertragung zwischen Systemen unterschiedlicher Temperatur erfolgt durch Wechselwirkungen in Form von Stoßprozessen zwischen den Teilchen beider Systeme. Diese Energieübertragung auf Teilchenebene bezeichnet man als Wärme.
- Dieser Vorgang verläuft irreversibel. Es wird stets kinetische Energie von den Teilchen des Systems mit der höheren mittleren kinetischen Energie an die Teilchen des Systems mit der niedrigeren mittleren kinetischen Energie abgegeben (Systemnotwendigkeit). Im Einzelfall ist es durchaus möglich, daß ein Teilchen des Systems mit der geringeren mittleren kinetischen Energie seine kinetische Energie auf ein Teilchen des zweiten Systems übertragen kann.

Der im Lehrbuch dargestellte Erkenntnisweg wird diskutiert und als ein mögliches Schema erkannt, das man auch in anderen Stoffeinheiten anwenden kann.

Tafelbild

Bild 84/1



Stoffeinheit Hauptsätze der Thermodynamik 11 Stunden

Vorbemerkungen

In dieser Stoffeinheit wird in Anknüpfung an die kinetisch-statistischen Betrachtungen erneut vom Systembegriff ausgegangen. Eine zentrale Stellung in diesem Teil besitzt die Energiebilanz. Sie tritt in allgemeiner und präzisierter Form vielfältig auf. Mit der Einführung der in der Hochschulliteratur üblichen Formelzeichen (U für innere Energie, E für Energie, W für Arbeit, Q für Wärme) ist es methodisch einfacher, deutlich zwischen Zustands- und Prozeßgrößen zu trennen. Das ist ein wichtiger Schwerpunkt. Bei den Energiebilanzen werden stets Änderungen der inneren Energie betrachtet, damit wird das nur durch Vereinbarung zu lösende Problem, welche Energien in die innere Energie einzubeziehen sind, umgangen und weiterführenden Studien überlassen. Bei der methodischen Gestaltung des Unterrichts ist auch zu beachten, daß die Umwandlung von Wärme in Arbeit und umgekehrt stets über die innere Energie des Systems verläuft. Veränderungen gegenüber Klasse 8 treten in der Vorzeichenfestlegung auf.
Nach Einführung des ersten Hauptsatzes wenden die Schüler die phänomenologische Betrachtungsweise auf Beispiele an und entwickeln diese Betrachtungsweise zur selbständigen Anwendungsbereitschaft. Dabei beziehen die Schüler in das Erklären des physikalischen Prinzips auch die Beschreibung des Aufbaus und der technischen und ökonomischen Funktion der Geräte ein. Sie festigen so ihre Überzeugung von der wechselseitigen Bedingtheit physikalischer Kenntnisse und deren technisch-ökonomischer Anwendung.
Dabei erfassen die Schüler das Vorgehen vom Allgemeinen zum Besonderen als Methode der Erkenntnisgewinnung. Sie erkennen die umfassende Bedeutung des Energiebegriffs und des Energieerhaltungssatzes als grundlegendes Naturgesetz für die Erkenntnisgewinnung und festigen die Überzeugung, daß Naturgesetze erkennbar und anwendbar sind und daß den bei ihrer Anwendung auftretenden, für die Menschen ungünstigen Folgen mit geeigneten Methoden entgegenwirkt werden kann. Die Anwendung des Wissens und Könnens der Schüler erfolgt wesentlich auch durch Lösen physikalisch-technischer Aufgaben. Dabei ist zu beachten, daß die Schüler den Lösungsalgorithmus solcher Aufgaben, denen Energiebilanzen zugrunde liegen, beherrschen und daß sie konsequent mit Größengleichungen arbeiten.
In dieser Stoffeinheit sind alle Möglichkeiten der Einbeziehung des Stoffes aus der Stoffeinheit „Kinetisch-statistische Betrachtungen" zu nutzen, vor allem sind beide Betrachtungsweisen der Thermodynamik parallel anzuwenden. Besonders wichtig ist dafür die 1. Stunde dieser Stoffeinheit, die die Grundlagen aus der 1. Stunde „Kinetisch-statistische Betrachtungen" wiederholend aufgreift und auf den neuen Stoff orientiert. In der 2. Stunde ist zum Erfassen der Wärme als Prozeßgröße ebenfalls die Anwendung beider Betrachtungsweisen erforderlich, vor allem, um eine saubere Unterscheidung zur Strahlungsenergie zu erreichen. Besonders in der 1. bis 4. Stunde benötigen die Schüler die in der 8. Stunde „Kinetisch-statistische Betrachtungen" erarbeiteten Kenntnisse über die innere Energie. Weitere Schwerpunkte aus dieser vorangegangenen Stoffeinheit werden durch die kinetisch-statistische Betrachtung der isobaren Wärmeübertragung in der 6. Stunde und durch das Aufgreifen des Begriffs irreversibel in der 10. und 11. Stunde (Zweiter Hauptsatz) der vorliegenden Stoffeinheit genutzt.
Im Zusammenhang mit der historischen Entwicklung der Thermodynamik wird,

um den Schülern Möglichkeiten zu geben, sich im Vortrag zu üben, zu einem zur 4. Stunde vorzubereitenden Schülervortrag geraten. Die Vorbereitung des Vortrages ist anzuleiten, wobei auf die exakte Darstellung der physikalischen Aussagen und deren Einbettung in den gesellschaftlichen Zusammenhang besonders hinzuweisen ist. Vorträge zur historischen Entwicklung haben sonst häufig den Charakter von Lebensläufen der Forscher, die sich in Vereinfachung und Verallgemeinerung dann sehr ähneln. Deutlich werden muß, daß das gesellschaftliche Sein die Arbeitsbedingungen und Ergebnisse der Wissenschaftler beeinflußt.
Die Schüler vertiefen die Überzeugung, daß die Welt erkennbar ist und zunehmend genauer erkannt wird. Sie erfassen am Beispiel der Wärme die Rolle des Experiments bei der Aufdeckung des Wesens von Erscheinungen.
Von besonderer Bedeutung sind die kalorischen Messungen. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, daß die Wärme einerseits eine physikalische Größe und andererseits Ausdruck für eine Energieform ist. Es muß deshalb von der spezifischen Wärmekapazität eines Stoffes (und nicht wie bisher von der spezifischen Wärme) gesprochen werden. In die Wärmekapazität des Kalorimeters wird nicht nur das Gefäß mit Zubehör, sondern auch die Kalorimeterflüssigkeit einbezogen. Bei Schülerexperimenten und physikalisch-technischen Aufgaben ergeben sich damit für die Schüler auch Vereinfachungen beim Aufstellen der Energiebilanzen.
In Vorbereitung des physikalischen Praktikums ist der Hinweis auf kalorische Messungen mit Aggregatzustandsänderung (GE III/4) nötig. Die verbindlichen Schülerexperimente dieser Stoffeinheit sollen entsprechend dem Lehrplan von den Schülern selbständig vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet werden. Dazu ist eine fundierte Einführung in das Prinzip der kalorischen Messungen erforderlich, in die die Erarbeitung der Grundlagen der Fehlerbetrachtung nach den Hinweisen in Schülerexperimente Physik Kl. 11/12 einbezogen werden sollte. Bei dem Schülerexperiment Bestimmen der Wärmekapazität eines Kalorimeters kann die Fehlerbetrachtung dann mit den Schülern geübt, beim Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität eines festen Metallkörpers von den Schülern schon selbständig gefordert werden.
Hingewiesen sei noch auf das Problem der Temperaturangabe. Es wird vorgeschlagen, die Umrechnung in Kelvin nur dort zu fordern, wo sie nötig ist (Zustandsgleichung und Zustandsänderung z. B.). Es ist aber immer auf eine exakte Zuordnung der Formelzeichen zur Art der verwendeten Temperaturskale zu achten. Die Stoffeinheit wird mit der Einführung in die Thermodynamik der irreversiblen Prozesse abgeschlossen. Bei der knappen Einführung ohne Verwendung des Entropiebegriffs ist der Unterricht nur erfolgreich, wenn er von einer fachwissenschaftlich fundierten Position des Lehrers aus geführt wird. Eine gründliche Vorbereitung ist deshalb besonders auf die Stunden 10 und 11 erforderlich.
Ausgangspunkt ist die Erkenntnis der Schüler, daß sie bei der isobaren Wärmeübertragung bereits eine Erfahrungstatsache anwendeten, die nicht im ersten Hauptsatz enthalten ist. Sie wissen, daß die Wärmeübertragung stets nur in Richtung der tieferen Temperatur erfolgt. Der Begriff der Irreversibilität von Prozessen steht aus der Stoffeinheit „Kinetisch-statistische Betrachtungen" zur Verfügung und wird genutzt, um den Schülern den zweiten Hauptsatz zunächst in der Formulierung nach Clausius zu erläutern. Wichtig ist, daß die Schüler die Gleichwertigkeit der Formulierung von Planck dazu erkennen. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik wird auch verwendet, um Probleme der verlustarmen Umwandelbarkeit von Energieformen und Gültigkeitsbereiche von Gesetzen zu diskutieren. Die Schüler werden über die Begründung des Gültigkeitsbereiches des zweiten Hauptsatzes durch die marxistisch-leninistische Philosophie informiert. Die Begründung wird den Schülern nicht erläutert.

Herausgearbeitet werden sollte, daß die marxistisch-leninistische Philosophie eine vollständige Interpretation der Naturgesetze ermöglicht. Damit werden Vorleistungen auf richtige philosophische Interpretation in den Stoffeinheiten „Felder" und „Spezielle Relativitätstheorie" der Klasse 12 erbracht.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Volumenarbeit** Betrachtungsweisen der Thermodynamik Volumenarbeit als Prozeßgröße	Graph der Potenzfunktion $y = x^{-1}$ (Ma 9)	DE: p-V-Diagramm der Luft (PSV 1/2/3, V 2.3.4.) FO 1: F-s- und p-V-Diagramme FO 2: p-V-Diagramm von Luft LB S. 66 bis 70 Modell Dieselmotor (08341289)
2. **Wärme als Prozeßgröße** Wärme als Prozeßgröße Strahlung und stoffgebundene Energie als Prozeßgrößen	Wärme als Energieart (Ph 8)	LB S. 70 bis 72
3. **Der erste Hauptsatz der Thermodynamik** Aufstellen von Energiebilanzen Der erste Hauptsatz als Erfahrungssatz	Energiebilanz in der Mechanik (Ph 9) Der erste Hauptsatz der Wärmelehre (Ph 8)	App. (Tafelbild 95/1), LB S. 72 bis 74 FO 3: Perpetuum mobile 1. Art FO 4: Historische Entwicklung zur Anleitung des SV für die 4. Stunde
4. **Anwendung des ersten Hauptsatzes** Sonderfälle zum ersten Hauptsatz Anwendung auf Teilprozesse des Dieselmotors Historisches zum ersten Hauptsatz	Dieselmotor (Ph 8)	Modell: Viertakt-Diesel-Motor (08341289) SV: Entwicklung der Vorstellungen von der Wärme LB S. 74 bis 77 FO 5: Energiebilanzen FO 4: Historische Entwicklung
5. **Energiebilanz und kalorische Gleichungen** Aufstellen von Energiebilanzen Unterscheidung von c_p und c_V	Grundgleichung der Wärmelehre Spezifische Wärmekapazität eines Stoffes (Ph 8)	LB S. 77 und 78

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
6. **Isobare Wärmeübertragung und kalorische Messungen** Aufstellen kalorischer Gleichungen Wärmekapazität K eines Kalorimeters	Temperaturmessung (Kelvin- und Celsiusskale) Grundgesetz des Wärmeaustauschs (Ph 8)	DE: Kalorimeter aus SEG-Teilen FO nach LB S. 78 LB S. 79 und 80 Schülerexperimente Physik Kl. 11/12
7. **Wärmekapazität eines Kalorimeters** Experimentelle Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters (Schülerexperiment Th 1)	SE W 1 Mischungstemperatur zweier Wassermengen (Ph 8)	Geräte zum Schülerexperiment Th 1 je nach Zahl der Schülergruppen Schülerexperimente Physik Kl. 11/12
8. **Spezifische Wärmekapazität eines Festkörpers**	Schülerexperiment W 2 Bestimmen der spezifischen Wärme eines festen Stoffes (Ph 8)	Geräte zum Schülerexperiment Th 2 je nach Zahl der Schülergruppen Schülerexperimente Physik Kl. 11/12
9. **Zusammenfassung zum ersten Hauptsatz** Schwerpunkte der Stunden 1 bis 8 Lösen physikalischer Aufgaben		LB S. 86
10./11. **Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik** zweiter Hauptsatz (Clausius) Reversible und irreversible Prozesse, quasistatische Zustandsänderungen zweiter Hauptsatz (Planck) Thermischer Wirkungsgrad Gültigkeitsgrenzen		LB S. 80 bis 85, S. 86

1. Stunde: Volumenarbeit

Stundenziele

Die Schüler

- können den Gegenstand der phänomenologischen Thermodynamik angeben, den Begriff thermodynamisches System erläutern und die kinetisch-statistische Betrachtungsweise von der phänomenologischen unterscheiden;
- wissen, daß jedes thermodynamische System durch die Zustandsgröße innere Energie gekennzeichnet ist, die durch Prozesse an der Systemgrenze geändert werden kann;
- kennen die Volumenarbeit als eine Möglichkeit der Änderung der inneren Energie.

Unterrichtsmittel

FO 1: Vergleich von F-s- und p-V-Diagrammen
FO 2: Meßreihe und Diagramme zur Aufnahme des p-V-Diagramms von Luft
Experimentieranordnung: Aufnahme des p-V-Diagramms von Luft (PSV 1/2/3; V 2.3.4.)
Schnittmodell Dieselmotor (SKUS Nr. 08 34 12 89)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Zusammenhang Thermodynamik – Technik, thermodynamisches System Betrachtungsweisen (W) **5 min**	Kurzer LV, UG oder SSA zu LB S. 66 Erläutern des Systembegriffs und der Betrachtungsweisen durch Schüler (mdl.) Mitteilung an Schüler, daß nun phänomenologische Betrachtungsweise angewendet wird (UG)
Die Entwicklung der Thermodynamik als Wissenschaft wurde wesentlich durch die Technik bestimmt. Thermodynamische Systeme existieren objektiv real. Sie sind von ihrer Umgebung relativ isoliert und heben sich von ihr ab. Systeme und ihre Wechselwirkungen mit der Umgebung können kinetisch-statistisch und phänomenologisch betrachtet werden. Die phänomenologische Betrachtungsweise erfaßt nur makroskopische Eigenschaften der Systeme.	
(2) Innere Energie als Zustandsgröße des Systems Betrachtung durch Prozeßgrößen beschriebener Wechselwirkungen an der Systemgrenze (W, E) **10 min**	Kennzeichnen des Systems durch die innere Energie (UG) Begriff Zustandsgröße Fragestellung zum Prinzip der Änderung der inneren Energie, Begriff Prozeßgröße Aufzeigen von Möglichkeiten der Änderung der inneren Energie (UG, TB 91/1 a)
Jedes thermodynamische System ist durch die innere Energie als Zustandsgröße gekennzeichnet. Jede Änderung der inneren Energie erfolgt durch Wechselwirkungen an der Systemgrenze, die durch Prozeßgrößen wie Arbeit, Wärme, stoffgebundene Energie und Strahlungsenergie beschrieben werden.	
(3) Änderung der inneren Energie durch makrophysikalische Bewegung der Systemgrenze Volumenarbeit bei konstantem und veränderlichem Druck (E) **15 min**	Erläutern der mechanischen Arbeit (UG) Auftrag (2) (LB S. 67) Volumenarbeit am Beispiel des Schnittmodells Dieselmotor Diagramme zur Volumenarbeit bei konstantem und bei veränderlichem Druck (FO 1 und TB 91/1 b) Aufstellen von Gleichungen, Vorzeichenfestlegungen, Auszählen der Fläche (UG) Aufträge (1) (2) (LB S. 69)
Die Änderung der inneren Energie durch Bewegung der Systemgrenze wird durch die Prozeßgröße Volumenarbeit beschrieben. Bei $p =$ konst. gilt für die Volumenarbeit $W = -p \cdot \Delta V$, bei $p \neq$ konst. wird die Volumenarbeit durch Auszählen von Flächen bestimmt. Für die am System verrichtete Arbeit gilt $W > 0$, für die vom System verrichtete Arbeit $W < 0$.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(4) Aufnahme des p-V-Diagramms für Luft (E) Boylesches Gesetz (W) **15 min**	Anordnung und Durchführung des DE (LV), Beschreibung des Exp durch Schüler (mdl.) Aufnahme und grafische Darstellung der Meßreihe (SSA mit TB 91/1 c) HA: Volumenarbeit durch Auszählen der Fläche ermitteln. Anleitung mit FO 2

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Bei der Wiederholung werden die Verbindung zur kinetisch-statistischen Betrachtung hergestellt und die Einheit von technischer und wissenschaftlicher Entwicklung herausgearbeitet. Daran wird erkennbar, ob die Schüler im ersten Teil des Stoffgebietes anwendungsbereite Kenntnisse erworben haben. Sollten Lücken auftreten, ist zusätzlich zur Hausaufgabe die Wiederholung des Systembegriffs und der Betrachtungsweisen zur 2. Stunde zu fordern.

(2) Ausgehend von der inneren Energie des Systems, deren Bedeutung und deren Charakter als Zustandsgröße die Schüler bereits kennen, wird durch Impulse vom Lehrer auf das Problem der Änderung der inneren Energie orientiert. Die Schüler reaktivieren ihr Wissen über Wechselwirkungen aus der Mechanik und erkennen deren Prozeßcharakter. Mögliche Prozesse werden erarbeitet. Dabei wird als Ziel dieser Stunde die Untersuchung der Änderung der inneren Energie durch Volumenarbeit gestellt.

(3) Am Beispiel der Bewegung des Kolbens im Zylinder des Dieselmotors wird die Volumenarbeit veranschaulicht. Als Analogieschluß aus der Mechanik für $F =$ konst. wird die Gleichung für die Volumenarbeit bei $p =$ konst. erarbeitet. Ebenso wird vorgegangen, um Aussagen über die Volumenarbeit bei $p \neq$ konst. zu erhalten. Besonders hinzuweisen ist auf die Vorzeichenfestlegung für die Volumenarbeit, weil sie im Gegensatz zu den Festlegungen steht, die die Schüler aus Klasse 8 kennen.

(4) Die Durchführung des Demonstrationsexperimentes (PSV 1/2/3, V 2.3.4. und Lehrbuch Bild 70/2) leitet zur Anwendung der Kenntnisse von der Volumenarbeit durch die Schüler über. Das Druck-Volumengesetz wird als bekannt vorausgesetzt (10. Stunde der Stoffeinheit 2.1.).
Das Experiment ist bezüglich des Druckes durch einen Vertikalmeßstab mit Schiebezeiger gut auswertbar. Die geringen Änderungen des Volumens werden zweckmäßig an der Bürettenskale in der Flüssigkeit abgelesen. Die Bestimmung des Bürettenvolumens im Teil unter der Skale kann der Lehrer aus Zeitgründen vor der Stunde vornehmen.
Folie 2 zeigt eine mit der Apparatur aufgenommene Meßreihe, das daraus folgende Diagramm und die daran durch Auszählen vorgenommene Bestimmung der Volumenarbeit. Sie dient zur Anleitung der Hausaufgabe, die Volumenarbeit zu diesem Experiment zu bestimmen. Bei der Anleitung dazu ist das Problem des Umrechnens der Einheiten besonders ausführlich zu erläutern, weil das meist Schwierigkeiten bereitet.
Da die Untersuchung der Änderung der inneren Energie in der 2. Stunde fortgesetzt wird, entfällt aus Zeitgründen die Zusammenfassung.

Tafelbild

Bild 91/1

Thermodynamisches System

Prozeßgrößen:
Volumenarbeit W
Wärme Q

Wechselwirkungen

Zustandsgrößen:
innere Energie
U

kinetisch-statistische Betrachtung

phänomenologische Betrachtung

p-V-Diagramm von Luft

$p_0 =$ $\vartheta =$

Lfd. Nr.	h in mm	Δp in Pa	$p = p_1 - \Delta p$ in Pa	V in cm^3

Prozeßgröße Volumenarbeit

Arbeit bei konstanter Kraft in Wegrichtung
$W = F_s \cdot s$

Volumenarbeit bei konstantem Druck
$W_V = -p\,(V_e - V_a)$

Volumenarbeit bei veränderlichem Druck
$W_V = -\sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \Delta V_i$

Am System verrichtete Arbeit $W_V > 0$

Vom System verrichtete Arbeit $W_V < 0$

a	b
c	

Folie

Bild 91/2

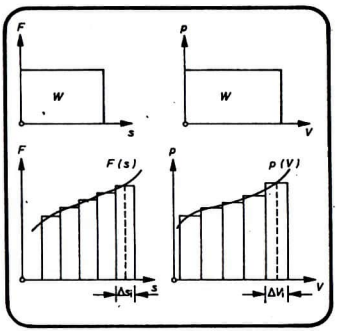
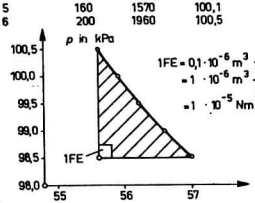


Bild 91/3

Meßwerte zum p-V-Diagramm von Luft

$p_0 = 9{,}85 \cdot 10^4$ Pa

Lfd. Nr.	h in mm	p_1 in Pa	$p = p_0 + p_1$ in kPa	V in 10^{-6} m^3
1	0	0	98,5	57
2	40	392	98,9	56,6
3	80	785	99,3	56,3
4	120	1178	99,7	56,1
5	160	1570	100,1	55,9
6	200	1960	100,5	55,6



$1\,FE = 0{,}1 \cdot 10^{-6}\,m^3 \cdot 10^2\,Pa$
$= 1 \cdot 10^{-6}\,m^3\,\frac{N}{m^2}$
$= 1 \cdot 10^{-5}\,Nm^2$

2. Stunde: Wärme als Prozeßgröße

Stundenziele

Die Schüler

- kennen Wärme, stoffgebundene Energie und Strahlungsenergie als Prozeßgrößen, die die Änderung der inneren Energie beschreiben;
- können zu jeder durch die Prozeßgrößen beschriebenen Wechselwirkung volkswirtschaftlich bedeutsame Anwendungen angeben;
- erkennen die Notwendigkeit einer Temperaturdifferenz zwischen System und Umgebung bei der Übertragung von Wärme.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Änderung der inneren Energie durch makrophysikalische Prozesse (Volumenarbeit) an der Systemgrenze (W) **10 min**	Vergleichen der Ergebnisse Bewerten einiger HA als K Wiederholen der Grundbegriffe der 1. Stunde (UG)
(2) Wechselwirkungen mit Änderung der inneren Energie Wärme als Prozeßgröße Temperaturdifferenz zwischen System und Umgebung Volkswirtschaftliche Bedeutung (E) **15 min**	Schüler nennen wiederholend Beispiele aus der 1. Stunde SSA mit LB (S. 70 Wärme Q bis Merksatz S. 71 oben) Auswerten im UG Erläutern der Vorzeichen (TB 93/1 a) Auftrag (3) (LB, S. 71) Erläutern von Beispielen, Auftrag (5) (LB, S. 71)
Die Änderung der inneren Energie durch Wärmeübertragung erfolgt durch Wechselwirkung der Teilchen an der Systemgrenze mit der Umgebung. Dafür ist eine Temperaturdifferenz zwischen System und Umgebung Voraussetzung. Die Wärmeübertragung erfolgt in Richtung tieferer Temperatur. Die Wärme ist eine Prozeßgröße. Die dem System zugeführte Wärme ist positiv, die vom System abgegebene Wärme ist negativ.	
(3) Änderung der inneren Energie durch – stoffgebundene Energie – Strahlungsenergie (E) **10 min**	Erläutern der Prozeßgrößen stoffgebundene Energie und Strahlungsenergie (Dampfturbine, Infrarotstrahler) Erarbeiten der Prozesse, die zur Änderung der inneren Energie führen Anwenden auf weitere Beispiele (UG)
Die Änderung der inneren Energie eines Systems kann auch durch stoffgebundene oder Strahlungsenergie erfolgen. Sie unterscheiden sich von der Wärme durch Stofftransport bzw. Übertragung elektromagnetischer Wellen über die Systemgrenzen.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(4) Vergleich der betrachteten Änderungen der inneren Energie nach den Schwerpunkten — Art der Wechselwirkung — Prozeßgrößen — technische Anwendung (Z) **10 min**	Erarbeiten des TB 93/1 b (UG) HA: Erläutern Sie die Möglichkeiten der Änderung der inneren Energie!

Erläuterung des Stundenverlaufs

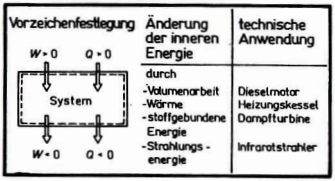
(1) Die Wiederholung der Änderung der inneren Energie durch die Volumenarbeit schließt die 2. Stunde entsprechend der Linienführung des Lehrplans, zunächst alle zu behandelnden Änderungen der inneren Energie eines Systems zu untersuchen, an die 1. Stunde an.

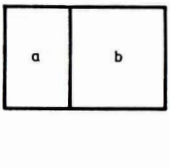
(2) Um die an Methodenwechsel arme Stunde aufzulockern, wird die Erarbeitung der Änderung der inneren Energie durch Wärme in selbständiger Schülertätigkeit mit dem hier besonders geeigneten Lehrbuchtext empfohlen. Es muß sich aber ein Auswertungsgespräch anschließen, in dem die Besonderheiten der Wärme als Prozeßgröße deutlich werden.

(3) Die Begriffe stoffgebundene Energie und Strahlungsenergie kennen die Schüler zwar aus Kl. 6, es erscheint aber trotzdem nötig, sie anhand der Geräte (LB, S. 72) erneut zu erläutern, bevor die zugehörigen Wechselwirkungen, die zur Änderung der inneren Energie des Systems führen, erarbeitet werden. Besonders die Unterscheidung von Strahlungsenergie und Wärme muß exakt erfolgen, da die Schüler beides sonst gleichsetzen. Der Begriff elektromagnetische Welle zum Unterschied von der mikrophysikalischen Teilchenbewegung an der Systemgrenze hilft hier, Klarheit zu schaffen.

(4) Zur Aufstellung der Energiebilanzen in der 3. Stunde ist die Beherrschung der behandelten Änderungen der inneren Energie durch die Schüler unbedingt erforderlich. Deshalb wird eine Zusammenfassung mit Erarbeitung des Tafelbildes 93/1b durchgeführt, aus der die Schüler die Gliederung für die als Hausaufgabe vorzubereitende Leistungskontrolle erkennen können. In Vorbereitung der Leistungskontrolle sollte daran erinnert werden, daß erst beschrieben, dann erklärt wird. Dabei ist zu beachten, daß die Begriffe System und Systemgrenzen verwendet werden und zwischen den physikalischen sowie den technischen und ökonomischen Sachverhalten unterschieden wird.

Tafelbild
Bild 93/1





3. Stunde: Der erste Hauptsatz der Thermodynamik

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß die Differenz der über die Systemgrenzen zugeführten und abgeführten Energie die Änderung der inneren Energie des Systems bewirkt;
- können die Energiebilanz für ein thermodynamisches System aufstellen und die energetischen Wechselwirkungen diskutieren;
- kennen den ersten Hauptsatz als Erfahrungssatz in der Form $U_e - U_a = Q + W$.

Unterrichtsmittel

Applikationen (Selbstherstellung) Anordnung und Text nach Tafelbild 95/1
FO 3: Perpetuum mobile 1. Art FO 4: Historische Entwicklung

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Leistungskontrolle zu den Änderungen der inneren Energie eines thermodynamischen Systems, Energieerhaltungssatz Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile 1. Art (W) **15 min**	SV zur HA aus Stunde 1. Herausarbeiten der Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Änderung der inneren Energie (K) Überleiten zum Aufstellen einer Energiebilanz für thermodynamische Systeme (LV) Nennen des Energieerhaltungssatzes und seiner Bedeutung (Schüler) Erläutern eines Beispiels (FO 3) zur Unmöglichkeit des Perpetuum mobile 1. Art (UG)
(2) Energiebilanz für Systeme in der Thermodynamik Erster Hauptsatz als Erfahrungssatz (E) **15 min**	Erläutern der Bedeutung und Aufstellung einer Energiebilanz (LV) Nennen und Erläutern der energetischen Wechselwirkungen (SSA, LB, S. 72/73) Formulieren der allgemeinen Form des ersten Hauptsatzes (UG, TB, Applikationen)
Die Änderung der inneren Energie des thermodynamischen Systems ist gleich der insgesamt über die Systemgrenzen zugeführten oder abgeführten Energie. Energetische Wechselwirkungen eines thermodynamischen Systems mit der Umgebung sind Arbeit, Wärme, stoffgebundene Energie und Strahlung. Der erste Hauptsatz der Thermodynamik lautet allgemein $\Delta U_{System} = \sum E_{übertragen}$. Er ist ein Erfahrungssatz.	
(3) Präzisierung und Vereinfachung der Energiebilanz — Erster Hauptsatz in der Form $U_e - U_a = Q + W$ (E) **10 min**	Erarbeitung vereinfachender Festlegungen (UG, Applikationen, LB, S. 73, TB) Wiederholung der Vorzeichenfestlegung (UG)
Es werden vereinfachende Festlegungen vereinbart, die auf einfache energetische Wechselwirkungen thermodynamischer Systeme ohne Übertragung stoffgebundener Energie anwendbar sind. Der erste Hauptsatz erhält dann die Form $U_e - U_a = Q + W$.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(4) Erster Hauptsatz (Z) 5 min	Nennen der Schritte zur Aufstellung des ersten Hauptsatzes HA: Vorbereiten eines SV zum Thema: Kurze Übersicht über die historische Entwicklung (LB, S. 75 und 76, Anleitung der Vorbereitung mit FO 4)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

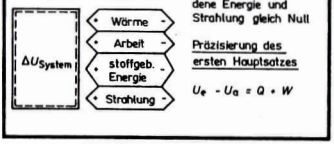
Diese Stunde nimmt in der Stoffeinheit die zentrale Stellung ein. Die vorangegangenen Stunden dienten der Vorbereitung der Erarbeitung des ersten Hauptsatzes, in den folgenden wird er geübt und angewendet.

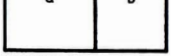
(1) Der Schülervortrag zu den behandelten Änderungen der inneren Energie ist Leistungskontrolle und sichert die Anwendungsbereitschaft des für die Aufstellung der Energiebilanz für ein thermodynamisches System benötigten Wissens der Schüler. Wird der Schülervortrag der zweiten Aufgabe nicht gerecht, muß ein Unterrichtsgespräch das Ausgangsniveau sichern. Vor der Erarbeitung des ersten Hauptsatzes muß außerdem überprüft werden, ob die Schüler die exakte Formulierung des Energieerhaltungssatzes kennen. Häufig wird von den Schülern nur der Energieerhaltungssatz der Mechanik genannt, der als Grundlage für den ersten Hauptsatz nicht ausreicht. Im Zusammenhang mit dem Energieerhaltungssatz wird kurz die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile 1. Art diskutiert.
Die Schüler erkennen daran erneut, daß die Naturgesetze objektiv real existieren und vom Menschen erkannt und angewendet werden.

(2) Bei der Bilanzierung wird den Schülern die Verwendung des Energiebegriffs sowohl für die innere Energie des Systems (Zustandsgröße) als auch für die über die Systemgrenzen transportierte Energie (Prozeßgröße) bewußt gemacht.
Im Sinne der Faßlichkeit sollte nur die Änderung der inneren Energie diskutiert werden. Welche Energien insgesamt in die innere Energie einbezogen werden, ist durch Überlegungen zu bestimmen, die im Zusammenhang mit der Thematik der Stunde nicht erforderlich sind (Tafelbild 95/1a).

(3) Festlegungen zur Energiebilanz werden von den Schülern dem Lehrbuch S. 73 entnommen (Tafelbild 95/1b). Dabei werden vom Tafelbild die Applikationen der Größen entfernt, die durch die Festlegungen konstant gehalten werden. Die neue Bilanz ist an der Tafel sofort ablesbar: $\Delta U = Q + W$ bzw. $U_e - U_a = Q + W$.

Tafelbild
Bild 95/1

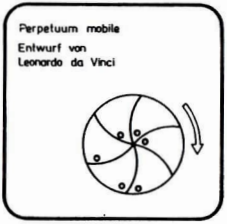




Verzeichnis der anzufertigenden Applikationen

Folie

Bild 96/1 und 96/2



Entwicklung der phänomenologischen Betrachtung des Wesens der Wärme

Forscher/Zeit	Erkenntnis
bis Mitte 19. Jahrh.	Wärme masseloser Stoff (Caloricum)
Mayer Arzt 1842	Äquivalenz von Wärme und Arbeit (Energieerhaltungssatz) über allgemeine theoretische Überlegungen
Helmholtz Physiologe Physiker 1847	Verallgemeinerung des Energieerhaltungssatzes der Mechanik gefolgert aus Unmöglichkeit des Perpetuum mobiles 1. Art
Joule Physiker 1847	Äquivalenz von Wärme und Arbeit über Experiment
seit Anfang 20. Jahrh.	Wärme, Arbeit - Energieübertragungsgrößen (Prozeßgrößen) Innere Energie - System zugeordnet (Zustandsgröße)

4. Stunde: Anwendung des ersten Hauptsatzes

Stundenziele

Die Schüler

- können den ersten Hauptsatz zur Aufstellung von Energiebilanzen bei Übertragung von Wärme und Arbeit auf einfache Beispiele anwenden;
- kennen die Teilprozesse des Viertakt-Diesel-Motors aus energetischer Sicht;
- können einfache physikalisch-technische Aufgaben zum ersten Hauptsatz lösen und festigen dabei deren Lösungsalgorithmus;
- kennen die wissenschaftlichen Leistungen von Mayer, Joule, Helmholtz bezüglich des ersten Hauptsatzes.

Unterrichtsmittel

Modell des Viertakt-Diesel-Motors (08 34 12 89)
Wassergefäß, Handmixer und Thermometer zur Demonstration des Joule-Experiments
FO 5: Beispiele zu Energiebilanzen
FO 4: Historische Entwicklung

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Aufstellen von Energiebilanzen — Erster Hauptsatz der Thermodynamik (W) **10 min**	Wiederholen der Aufstellung des ersten Hauptsatzes Festigen der Form $U_e - U_a = Q + W$ (UG) SV zu Leistungen von Mayer, Helmholtz und Joule (FO 4) Durchführen des Joule-Experiments (DE)

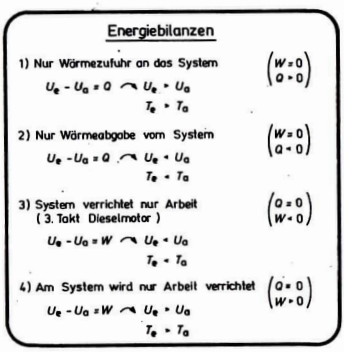
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Anwenden des ersten Hauptsatzes auf die Übertragung von Q und W, Sonderfälle, Teilprozesse des Diesel-Motors (E, W) **20 min**	Unterscheiden von Prozessen, die zur Änderung der inneren Energie führen Erläutern technischer Beispiele (Aufträge LB, S. 75 (1) und (2), SSA mit LB, S. 74) Kontrolle mit FO 5 Anwenden auf Teilprozesse des Diesel-Motors (Modell und Bild 74/3 des LB) Lösen der Arbeitsaufträge (LB, S. 75 (3) und (4), (UG)
Der erste Hauptsatz dient zur Aufstellung von Energiebilanzen bei Übertragung von Wärme und/oder Arbeit auf thermodynamische Systeme. Eine technische Anwendung ist der Viertakt-Diesel-Motor.	
(3) Aufgabe zur Änderung der inneren Energie (Ü) **15 min**	Erläuterung der Aufgabe (LB, S. 75, SSA, UG) Vorbereitung der HA (LB, S. 166, Aufg. 1 und 2)
Mechanische Arbeit wird in innere Energie umgewandelt, ein Teil davon wird als Wärme an die Umgebung übertragen, der Rest erhöht die Temperatur des Systems.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Für die folgenden Stunden ist die sichere Beherrschung des ersten Hauptsatzes zum Aufstellen von Energiebilanzen erforderlich. Diesem Ziel dient ein kurzes Unterrichtsgespräch, in dem der Kenntnisstand überprüft und wenn nötig erhöht wird. Ausführungen zur historischen Entwicklung folgen als Leistungskontrolle. Das Joule-Experiment kann an dieser Stelle durchgeführt oder beschrieben werden, es eignet sich aber ebenfalls gut in (3).

(2) Als erstes Teilziel werden Prozesse genannt, die die Änderung der inneren Energie bewirken. Unter Einbeziehung des Lehrbuches S. 74 formulieren die Schüler die Energiebilanzen für diese Beispiele schriftlich.
Anhand der Folie 5 kontrollieren sie anschließend ihre Arbeit. Das erworbene Wissen wird auf Teilprozesse des den Schülern aus Kl. 8 bekannten Viertakt-Diesel-Motors angewendet.
Die technische Anwendung sollte den Schülern möglichst knapp erläutert werden.

Folie
Bild 97/1



(3) Während in den behandelten Beispielen Volumenarbeit auftrat, wird nun ein Beispiel zur Übertragung mechanischer Arbeit verwendet. Es wird aus Zeitgründen zu dem Lehrbuchbeispiel zum Getriebe geraten. Man kann dann evtl. auf das Durchrechnen zu Gunsten der Wiederholung des Lösungsalgorithmus für physikalische Aufgaben verzichten. In der nächsten Stunde kann eine Leistungskontrolle zum Lösen von Aufgaben am Anfang stehen.

5. Stunde: Energiebilanz und kalorische Gleichungen

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die kalorische Gleichung $Q_v = m \cdot c_v (T_e - T_a)$ für isobare Wärmezufuhr und $Q_p = m \cdot c_p(T_e - T_a)$ für isobare Wärmezufuhr;
- können die spezifischen Wärmekapazitäten für konstanten Druck und konstantes Volumen unterscheiden und wissen, wann keine Unterscheidung erforderlich ist;
- festigen die Erkenntnis, daß für physikalische Gesetze Gültigkeitsbereiche zu beachten sind.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Kontrolle der HA **5 min**	Nennen der Ergebnisse, Interpretieren der in den Aufgaben aufgestellten Energiebilanzen durch Schüler.
(2) Energiebilanz der isochoren und isobaren Zustandsänderung Kalorische Zustandsgleichung, Gültigkeitsbereiche (E) Spezifische Wärmekapazität (Erweiterung und W) **15 min**	Interpretieren der kalorischen Gleichungen als Energiebilanz für Bild 77/1 des LB (UG, TB 99/1 a) Aufstellen und Interpretieren der Energiebilanz für Bild 77/2 (SSA mit LB) Zusammenfassen als TB 99/1 b durch Schüler (UG, Kontrolle der SSA), Ergänzen der Zusammenfassung durch Unterscheidung von c_p und c_v und Diskutieren der Gültigkeitsbereiche (Bild 78/2 des LB, LV)
Die Energiebilanz für isobare Zustandsänderungen lautet $Q_v = (U_e - U_a)_v$ und für isobare Zustandsänderungen $Q_p = (U_e - U_a) - W$. Die kalorischen Zustandsgleichungen lauten $(U_e - U_a)_v = m \cdot c_v \cdot \Delta T$ bzw. $(U_e - U_a)_p - W = Q_p = m \cdot c_p \cdot \Delta T$. Die spezifische Wärmekapazität ist eine temperatur- und druckabhängige Stoffgröße. Besonders bei Gasen sind c_v und c_p voneinander zu unterscheiden. Bei physikalischen Aussagen sind die Gültigkeitsbereiche zu beachten.	
(3) Aufgabe zur kalorischen Gleichung (Ü) **10 min**	Analysieren der Aufgabe 3 (LB, S. 166, UG) Lösen von 3a und 3b in SSA, Lösen von 3c (UG) Lösungsweg an der Tafel notieren.

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(4) Energiebilanz und kalorische Gleichungen (Ü) **15 min**	Lösen der Aufgaben 7 und 8 (LB, S. 166) in zwei Schülergruppen, Erläutern der Energiebilanz (SV), HA: 1. Numerisches Lösen der Aufgaben, 2. Vorbereiten der K zu den kalorischen Gleichungen, 3. Durcharbeiten der Anleitungen zu Th 1 und Th 2 (Schülerexperimente)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Die Stunde hat vorrangig die Aufgabe, die aus dem ersten Hauptsatz folgenden Energiebilanzen für $V =$ konst. und $p =$ konst. und die kalorischen Gleichungen zu betrachten und besonders bezüglich der spezifischen Wärmekapazität zu diskutieren. Damit werden die Kenntnisse aus den vorangegangenen Stunden gefestigt, besonders aber die theoretische Begründung und die praktische Durchführung der kalorischen Messungen in den folgenden drei Stunden vorbereitet.

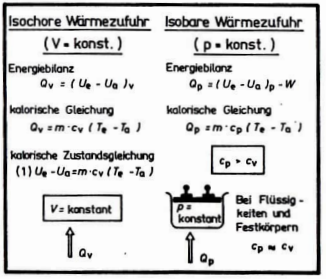
(2) Nach der Wiederholung der Begriffe isobar und isochor wird das Ziel gestellt, aus dem ersten Hauptsatz spezielle Energiebilanzen für die isochoren und die isobaren Zustandsänderungen aufzustellen und den Zusammenhang von innerer Energie und Temperatur in die Betrachtung einzubeziehen. Zunächst wird die kalorische Zustandsgleichung $(U_e - U_a)_V = m \cdot c_V(T_e - T_a)$ gemeinsam erarbeitet (Tafelbild), danach wird die Energiebilanz $Q_p = (U_e - U_a)_p - W$ mit $Q_p = m \cdot c_p(T_e - T_a)$ anhand des Lehrbuches, S. 78, von den Schülern selbständig erarbeitet. Zur Kontrolle erläutert ein Schüler die Energiebilanz (Tafelbild 99/1b). Die Diskussion der spezifischen Wärmekapazitäten c_p und c_V, ihrer Temperatur- und Druckabhängigkeit sowie ihres stoffspezifischen Charakters (Diagramm LB, Bild 78/2, Tabellen) schließt sich an. Zur Zusammenfassung eignet sich die Tabelle auf S. 78 im Lehrbuch; sie bietet die Möglichkeit, die Gültigkeitsbereiche und die Aussagen zur spezifischen Wärmekapazität durch die Schüler in zusammenhängenden Darlegungen erläutern zu lassen.

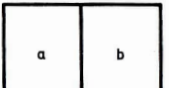
(3) Es wird empfohlen, Aufgabe 3c gemeinsam mit den Schülern zu erarbeiten.

(4) Das parallele Lösen zweier Aufgaben wird mit kurzen Schülervorträgen zur Erläuterung der Energiebilanzen verbunden. Die Hausaufgabe 3 dient der Sicherung des Ausgangsniveaus für die Schülerexperimente in den Stunden 7 und 8.

Tafelbild

Bild 99/1





6. Stunde: Isobare Wärmeübertragung und kalorische Messungen

Stundenziele

Die Schüler

- können kalorische Gleichungen für zwei Systeme A und B aufstellen und unter der Bedingung des vollständigen Temperaturausgleiches zu einer Gleichung vereinigen;
- wissen, daß mit der Wärmekapazität K die Änderung der inneren Energie des Kalorimeters erfaßt wird;
- festigen die Erkenntnis, daß alle Messungen mit einer Meßunsicherheit verbunden sind und unterscheiden zufällige und systematische Fehler.

Unterrichtsmittel

FO: Tabelle Lehrbuch S. 78
Kalorimeter aus Aufbauteilen (SEG Kalorik und Glasgeräte)
Klassensatz: Schülerexperimente Physik Kl. 11/12

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Kalorische Gleichungen und spezifische Wärmekapazität (K) **10 min**	Nennen der Ergebnisse der HA, Erläutern der kalorischen Gleichungen, ihres Gültigkeitsbereiches und der spezifischen Wärmekapazität (SV, Verwendung der FO nach LB, S. 78)
(2) Isobare Wärmeübertragung zwischen zwei Systemen (E) Wärmekapazität K eines Kalorimeters (E) **20 min**	Zielstellung: Untersuchung der Wärmeübertragung zwischen zwei benachbarten Systemen (LV), Aufstellen der kalorischen Gleichungen für die Systeme A und B unter Verwendung LB, S. 79, Bild 79/1 (UG) Aufbau eines Kalorimeters aus SEG-Teilen (DE, Verw. von LB, S. 80, Bild 80/1) Einführung der Wärmekapazität K, Ableitung der Einheit (UG, TB 102/1a) Diskutieren möglicher systematischer und zufälliger Fehler bei kalorischen Messungen (UG)
Für die Wärmeübertragung zwischen zwei Systemen ist eine Temperaturdifferenz nötig. Die Änderung der inneren Energie des Kalorimeters wird mit K (Wärmekapazität) beschrieben. K ist vom Füllstand abhängig. Die Wärmekapazität des Kalorimeters ist bei kalorischen Messungen zu beachten.	
(3) Bestimmung der Wärmekapazität K eines Kalorimeters und der spezifischen Wärmekapazität (Ü) Stellung der Hausaufgaben	Vorbereitung der kalorischen Messungen der Schülerexperimente Th 1 und Th 2 (UG, Hinweise zur Vorbereitung der Protokolle TB 102/1b), Diskutieren von Fehlereinflüssen der Meßwerte auf das Meßergebnis, HA 1 (zur 7. und 8. Stunde): Vorbereiten der Protokolle bis einschließlich Meßprotokolle,

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
10 min	HA 2 (zur 9. Stunde): Erarbeiten Sie zu den Schwerpunkten Änderung der inneren Energie, erster Hauptsatz, kalorische Gleichungen eine kurze schriftliche Zusammenfassung (LB, S. 86)
(4) Zusammenfassung 5 min	Erläutern der Grundlagen und des Prinzips kalorischer Messungen (SV) unter Verwendung LB, S. 79 und 80

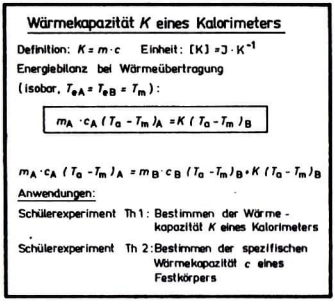
Erläuterungen zum Stundenverlauf

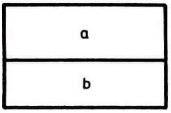
(1) In dieser Stunde werden die in der 5. Stunde erarbeiteten kalorischen Gleichungen angewendet. Die Folie hat die Aufgabe, für die Schüler Wesentliches noch einmal besonders herauszustellen. Der Schwerpunkt der Leistungskontrolle liegt auf dem Interpretieren der Gleichungen bezüglich ihrer Gültigkeitsbereiche und der spezifischen Wärmekapazitäten.

(2) Die weitere Erarbeitung, die aber auch bereits Elemente der Festigung enthält, wird besonders durch die Verwendung des Lehrbuches unterstützt. Die Schüler werden auf die Notwendigkeit der Temperaturdifferenzen als Voraussetzung für die Wärmeübertragung und auf die Bedeutung der Wärmeübertragung für kalorische Messungen hingewiesen. Als Beispiele werden Messungen an Flüssigkeiten und Festkörpern und auch mögliche Aggregatzustandsänderungen (Vorleistung zur Stoffeinheit 2.2.3.) genannt. Anhand Bild 79/1 (LB, S. 79) werden die kalorischen Gleichungen für die Systeme A und B aufgestellt. Beim Vergleich von T_a und T_e werden die Vorzeichenfestlegungen für aufgenommene und abgegebene Wärme wiederholt und gefestigt. Dabei können die Bedingungen auf S. 79 des Lehrbuches sofort in die Betrachtungen einbezogen werden. Als weitere Bedingung wird genannt, daß die Wärmeübertragung bis zum vollständigen Temperaturausgleich erfolgt. An dieser Stelle sollte unbedingt die Möglichkeit zur Wiederholung der kinetisch-statistischen Betrachtung genutzt werden.
Besonders zur Vorbereitung der nächsten Stunden wird durch die Schüler der Aufbau eines Kalorimeters anhand Bild 80/1 des Lehrbuches beschrieben und mit SEG-Teilen demonstriert.
Die Schüler erkennen oder werden darauf hingewiesen, daß das Kalorimeter an der Wärmeübertragung beteiligt ist.
Dazu wird die füllstandsabhängige Wärmekapazität K mit der Einheit $kJ \cdot K^{-1}$ eingeführt, deren Bestimmung experimentell erfolgt. Im allgemeinen wird die Kalorimeterflüssigkeit in K einbezogen.

(3) Zur Übung wird die Energiebilanz für isobare Wärmeübertragung unter Einbeziehung von K aufgestellt (Tafelbild 102/1 b). Die gewonnenen Erkenntnisse werden mit den Schülern gemeinsam auf die Schülerexperimente Th 1 und Th 2 angewendet; deshalb sollten die Schüler die Anleitungen bereits zu dieser Stunde kennen.

Tafelbild
Bild 102/1





7. Stunde: Schülerexperiment Th 1 Wärmekapazität eines Kalorimeters

8. Stunde: Schülerexperiment Th 2 Spezifische Wärmekapazität eines Festkörpers

Stundenziele

Die Schüler

- können die Energiebilanzen für die beiden Experimente aufstellen und die so erhaltenen Gleichungen zur Berechnung der gesuchten Größen umstellen;
- können mit Hilfe der Anleitungen selbständig die Protokolle der Schülerexperimente erarbeiten, die Experimentieranordnung aufbauen und die Messungen durchführen und auswerten;
- festigen die Überzeugung, daß jede Messung nur mit einer anschließenden Fehlerbetrachtung sinnvoll ist;
- können mit Unterstützung des Lehrers eine Fehlereinschätzung für beide Experimente vornehmen und dabei systematische und zufällige Fehler unterscheiden, absolute Fehler abschätzen und relative Fehler berechnen.

Unterrichtsmittel

Anleitungen zu den Schülerexperimenten Th 1 und Th 2
Geräte und Hilfsmittel lt. Anleitungen (SEG Glasgeräte, Kalorik und Mechanik)
Klassensatz: Schülerexperimente Physik Kl. 11/12

Stundenverlauf

Die Aufgliederung erfolgte für die Durchführung beider Experimente in einer Doppelstunde (siehe Erläuterungen zum Stundenverlauf)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Kontrolle der Vorbereitung Kontrolle der Geräte **5 min**	Vergleichen der Gleichungen für K bzw. c_{Metall} Klärung von Fragen zur Durchführung der Experimente (UG) Vergleich der Vollständigkeit und Einsatzbereitschaft der Geräte anhand der Anleitung durch die Schüler
Die Schüler erkennen, daß eine sorgfältige Vorbereitung (gerätetechnisch und theoretisch) Voraussetzung für erfolgreiches experimentelles Arbeiten ist. Die Kontrolle der Geräte am Arbeitsplatz soll zur Gewohnheit werden.	
(2) Aufbau der Experimentieranordnung Durchführung der Messungen **20 min**	Aufbauen der Experimentieranordnung, Durchführen der Messung und Kontrollmessung zur Bestimmung von K (SSA)
(3) Ermitteln der Meßergebnisse für die Wärmekapazität K des Kalorimeters (Ü) **10 min**	Errechnen der Werte von K aus Messung und Kontrollmessung (SSA) Beantwortung von Schülerfragen
(4) Diskussion der Meßergebnisse (E) **15 min**	Einschätzung der Meßergebnisse von K (UG), Entscheidung über die weitere Arbeit mit den Werten für K (Lehrer), Hinweise zur Fehlereinschätzung, Nennen von Fehlerquellen und -einfluß
Durch die Einschätzung der Werte für K (und gegf. deren Korrektur) haben die Schüler eine Basis für die erfolgreiche Lösung der zweiten Aufgabe.	
(5) Ergänzen der Experimentieranordnung Messung und Kontrollmessung zur Bestimmung von c_{Metall} **20 min**	SSA wie bei (3)
(6) Ermitteln der Meßergebnisse für c_{Metall} (Ü) **10 min**	SSA wie bei (4) Vergleich mit TuF Identifizieren des Stoffes (SSA)
Aus dem Meßergebnis für c_{Metall} wurde der Stoff bestimmt.	
(7) Fehlerbetrachtungen zu beiden Experimenten (Ü) **10 min**	UG zur Ergänzung von (5), danach Abschluß der Protokolle in SSA

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Beide Schülerexperimente sind zur Durchführung in einer Doppelstunde geplant. Die Vorteile liegen vor allem in der Vereinfachung des organisatorischen Ablaufs (Aufbau, Abbau der Experimentieranordnungen, Wegräumen der Geräte). Dadurch wird auch Zeit für die Schüler gewonnen, in der sie sich gründlicher mit der Auswertung befassen können.
Wenn auf Grund der Klassensituation Bedenken gegen dieses Anforderungsniveau

bestehen, ist es möglich, nach (4) einen Zwischenabschluß herzustellen und die beiden Experimente auf zwei Einzelstunden zu verteilen. Dabei kann die hier als 9. Stunde geplante Unterrichtsstunde zur Übung und Zusammenfassung zwischen den beiden Experimentierstunden liegen, um die Auswertung des ersten Protokolls vornehmen und Hinweise für das zweite Schülerexperiment geben zu können.

Da der Wert der Wärmekapazität des Kalorimeters trotz großer Bemühungen durch die Schüler beim Experimentieren nicht immer befriedigend ermittelt wird, sollte den Schülern, die einen stark abweichenden Wert für K ermittelt haben, ein Wert für das Experiment Th 2 vorgegeben werden. Damit wird für alle Schüler ein erfolgreiches Arbeiten gesichert, und sie werden für eine Fehlleistung nicht zweimal negativ bewertet.

Es wird empfohlen, die Apparaturen zu kennzeichnen, da sonst bei der Verteilung der beiden Experimente auf zwei Einzelstunden bei der Weiterarbeit mit dem in Th 1 ermittelten Wert für K unter Umständen weitere Fehler verursacht werden. Anhand der gekennzeichneten Apparaturen sollte der Lehrer mit Unterstützung der Fachhelfer möglichst in der Vorbereitung Werte für K in Abhängigkeit vom Füllstand ermitteln. Durch wiederholte Messungen mit der gleichen Apparatur kann man so im Laufe der Zeit relativ gesicherte Werte erhalten, was besonders im Hinblick auf die Messungen der zweiten Experimentierstunde nützlich ist.

Der Lehrplan fordert (↗S. 7), auf Fragen der Meßunsicherheit einzugehen. Beide Experimente bieten gute Möglichkeiten, sowohl systematische als auch zufällige Fehler erkennen und deren Einfluß abschätzen zu lassen. Aus dem Überwiegen der systematischen Fehler bei Th 1 und Th 2 ist auch die Frage Meßreihe oder Messung und Kontrollmessung zu beantworten. Der Anteil der Hilfen des Lehrers bei (7) wird vor allem dadurch bestimmt, ob die im Lehrplan ausgewiesene Stunde zur Fehlerbetrachtung bereits durchgeführt wurde.

Wenn es die gerätetechnische Ausstattung ermöglicht, sollten bei diesen Experimenten zwei Thermometer vorgesehen werden. Dadurch läßt sich unkontrollierbarer Energietransport beim Umsetzen des Thermometers aus dem Gefäß mit warmem Wasser in das Kalorimetergefäß vermeiden.

Zur Sicherung der Zeit für die Durchführung von Messung und Kontrollmessung wird vorgeschlagen, die Masse des Körpers, dessen spezifische Wärmekapazität bestimmt werden soll, vorzugeben.

Der Ausstattungsplan der Schulen mit Schülerexperimentiergeräten sieht die Durchführung von Schülerexperimenten in Gruppen vor. Auch im Interesse der Überschaubarkeit der experimentellen Tätigkeit der Schüler durch den Lehrer und einer möglichen Arbeitsteilung unter Beachtung der Durchführung jeder Tätigkeit im Wechsel durch alle Schüler wird das Schülerexperiment als Gruppenexperiment vorgeschlagen. Ein Protokoll der Schülerexperimente sollte aber auch bei Arbeit in Schülergruppen von jedem Schüler gefordert werden. Dadurch wird gesichert, daß jeder Schüler die Protokollführung übt und ein Protokoll zur Prüfungsvorbereitung sowie zur Vorbereitung auf die Einzelexperimente des Praktikums zur Verfügung hat.

Folgende Meßwerte und -ergebnisse können mit den angegebenen Schülerexperimentiergeräten etwa erzielt werden:

Zu Th 1

$c_{\text{Wasser}} = 4{,}19\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Lfd. Nr.	m_B in g	m in g	m_A in g	ϑ_{aB} in °C	ϑ_{aA} in °C	ϑ_m in °C	K in kJ · K⁻¹
1	69	114	45	20	90	45	0,34
2	66	108	42	22	94	48	0,31

$$K = \frac{m_A \cdot c_W\,(\vartheta_{aA} - \vartheta_m)}{\vartheta_m - \vartheta_{aB}}$$

$K_1 = 0{,}34\ \text{kJ} \cdot K^{-1}$

$K_2 = 0{,}31\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1}$

Zu Th 2

Bei Verwendung von $K = 0{,}34\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1}$ als Wert für die Wärmekapazität des Kalorimeters können mit den genannten Schülerexperimentiergeräten für c_{Metall} etwa folgende Werte ermittelt werden:

Masse des Metallkörpers (SEG): $m_A = 22{,}3$ g

Lfd. Nr.	ϑ_{aB} in °C	ϑ_{aA} in °C	ϑ_m in °C	c_{Metall} in kJ · kg⁻¹ · K⁻¹
1	23	94	27	0,91
2	20	95	24	0,86

$$c_{\text{Metall}} = \frac{K(\vartheta_m - \vartheta_{aB})}{m_A(\vartheta_{aA} - \vartheta_m)}$$

$c_1 = 0{,}91\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$c_2 = 0{,}86\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Vergleich zum Tabellenwert: $c_{Al} = 0{,}908\ \text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

9. Stunde: Zusammenfassung zum ersten Hauptsatz

Stundenziele

Die Schüler

- entwickeln das in dieser Stoffeinheit erworbene Wissen und Können zur Anwendungsbereitschaft;
- können den ersten Hauptsatz zur Aufstellung spezieller Energiebilanzen anwenden und diese erläutern;
- festigen ihr Wissen über die kalorischen Gleichungen und deren Gültigkeitsbereiche.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Wiederholung von Begriffen und Sätzen (Phänomenologische Betrachtungsweise der Thermodynamik, Änderung der inneren Energie, erster Hauptsatz, kalorische Gleichungen) **10 min**	Erarbeiten des TB im UG (Reaktivieren der theoretischen Grundlagen unter Einbeziehung der HA 2 von Stunde 6) Bewertung der Schülerantworten
(2) Übung ausgewählter Schwerpunkte anhand von Aufgaben a) Volumenarbeit über die Fläche unter dem Graphen im p-V-Diagramm b) erster Hauptsatz c) Kalorimetrie kalorische Gleichungen, spezifische Wärmekapazität eines Kalorimeters **30 min**	Lösen der Aufgabe 4 (LB, S. 166) Zusammenstellen der gegebenen und gesuchten Größen Erläutern der Änderung der inneren Energie durch Volumenarbeit und der Ermittlung der Volumenarbeit mit Hilfe der Fläche im Diagramm Durchführung der Lösung (SSA) Kurze Anleitung zu Aufg. 6 (LB, S. 166) (HA) Aufgabe 3 (LB, S. 166) Aufstellen und Erläutern der Energiebilanz mit Hilfe des ersten Hauptsatzes Zur Ermittlung des Spanvolumens werden Hinweise gegeben. Durchführung der Lösung (SSA) Aufgabe 2 (LB, S. 166) als HA (ohne Hinweise) Aufgabe 11 (LB, S. 166) Vertiefen der Kenntnisse über kalorische Messungen Erläutern der zu verwendenden Gleichungen und deren Gültigkeitsbereich (Bewertung der Schülerleistung) Kurze Hinweise zu Aufg. 15 (LB, S. 166) (HA): Einfaches Prinzip, umfangreichere Umformungen
(3) Zusammenfassung. Hausaufgabenerteilung **5 min**	Nennen der in häuslicher SSA zu lösenden Aufgaben Hinweis auf Leistungskontrolle zur selbständigen Lösung ähnlicher Aufgaben in der folgenden Stunde

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Für eine Übungs- und Kontrollstunde bieten sich viele Gestaltungsmöglichkeiten an. Hier wird eine Variante, die vorwiegend auf der Lösung physikalisch-technischer Aufgaben basiert, vorgeschlagen. Angestrebt wird damit

- die geringen zeitlichen Möglichkeiten zum Lösen von Aufgaben in den Stunden 1 bis 8 der Stoffeinheit zu ergänzen;
- die Anwendungsbereitschaft des Wissens und Könnens der Schüler zu sichern;
- die Reifeprüfung vorzubereiten;
- die Hilfsmittel der geistigen Arbeit, besonders Tafelwerk und Rechenstab sicher und rationell einzusetzen;
- das polytechnische Prinzip zu realisieren, am Erfahrungsbereich der Schüler anzuknüpfen und ihn zu erweitern.

(1) In den Stunden 1 bis 6 und in der in die Stunde 9 einführenden Wiederholung wird besonders das Verständnis für die Gedankenführung des vermittelten Stoffes überprüft. In den Stunden 7 und 8 steht die Kontrolle der experimentellen Leistung im Vordergrund. Im Zusammenhang mit den Aufgaben wird in Stunde 9 kontrolliert, wie die Schüler das Problem der Aufgabe erkennen und sich dazu äußern können.

(2) Die Aufgaben berücksichtigen Schwerpunkte der Stunden 1 bis 8. Die zur Verfügung stehende Zeit dürfte jedoch nicht für alle Aufgaben reichen, so daß der Lehrer unter Beachtung der Klassensituation die jeweils geeignetsten Aufgaben auswählen sollte.
Während des Herausarbeitens der gegebenen und gesuchten Größen analysieren die Schüler die Aufgabe. Erläuterungen der Schüler zu den theoretischen Grundlagen der Aufgabe können bewertet werden. Die Lösung selbst, die Anwendung des Lösungsalgorithmus, der Einsatz der Hilfsmittel, die Anwendung der mathematischen Methoden und die Rechenfertigkeiten werden geübt, aber noch nicht bewertet.

Tafelbild
Bild 107/1

1) Volumenarbeit (Methoden zu ihrer Bestimmung)
a) p = konstant: $W = -p \cdot \Delta V$
b) $p \neq$ konstant: Fläche unter der Kurve im p-V-Diagramm ist Maß für die Volumenarbeit

2) Der erste Hauptsatz (Aufstellen von Energiebilanzen)
$U_e - U_a = Q + W$

3) Kalorische Gleichungen (Gültigkeitsbereiche beachten)
$Q_p = m \cdot c_p \cdot \Delta T$ $\quad U_e - U_a = m \cdot c_V \cdot \Delta T$

10. Stunde und 11. Stunde: Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß die Wärmeübertragung stets nur in Richtung der tieferen Temperatur erfolgt;
- kennen die Formulierung des zweiten Hauptsatzes nach Clausius und Planck und können den Inhalt kinetisch-statistisch erläutern;
- wissen, daß irreversible Prozesse nicht ohne zusätzliche Veränderungen im System oder in der Umgebung umkehrbar sind;
- kennen den thermischen Wirkungsgrad und erkennen daran physikalische und ökonomische Probleme;
- wissen, daß der zweite Hauptsatz im kosmischen Bereich nicht gültig ist.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Wärmeübertragung zwischen zwei Systemen (K) Motivation **15 min**	Kontrolle der Hausaufgaben, Lösen einer Aufgabe zur isobaren Wärmeübertragung (ein Schüler als K, die übrigen SSA)
Mit dieser Aufgabe wird das Ausgangsniveau gesichert und die weitere Arbeit motiviert. Die Schüler erkennen die Notwendigkeit der Formulierung des zweiten Hauptsatzes zum Erklären thermodynamischer Prozesse.	
(2) Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik (Formulierung nach Clausius) (E) **5 min**	Erkennen der Gerichtetheit der Wärmeübertragung, Nennen weiterer Beispiele, Interpretieren mit kinetisch-statistischer Betrachtungsweise, Formulieren und Einprägen des zweiten Hauptsatzes nach Clausius (TB 110/1a, LB, S. 83)
Wärme kann nie von selbst von einem System niederer Temperatur auf ein System höherer Temperatur übergehen.	
(3) Irreversible und reversible Prozesse (W, Fst) quasistatische Zustandsänderungen (E) **25 min**	Unterscheiden zwischen reversiblen und irreversiblen Prozessen (LB, S. 81) Nennen weiterer Beispiele, Erläutern mit kinetisch-statistischer Betrachtungsweise Erarbeiten einer Tabelle (TB 110/1 b, UG) Erarbeiten des Modells quasistatischer Zustandsänderung als Voraussetzung reversibler Prozesse (SSA mit LB, S. 82 und 83) Kontrolle des Erfassens (UG)
Irreversible Prozesse sind nicht ohne zusätzliche Veränderungen am thermodynamischen System oder in der Umgebung umkehrbar.	
(4) Formulierung des zweiten Hauptsatzes nach Clausius (W), Unterscheidung irreversibler und reversibler Prozesse (Ü) **5 min**	Reaktivieren des bisher erworbenen Wissens, Sichern des Ausgangsniveaus für die Fortsetzung der Erarbeitung (UG)
(5) Formulierung des zweiten Hauptsatzes nach Planck, Unmöglichkeit des Perpetuum mobile 2. Art (E) **10 min**	Bekanntmachen mit der Formulierung nach Planck mit Hilfe LB, S. 84 Herstellen von Beziehungen zu irreversiblen Prozessen (UG) Vergleich des Perpetuum mobile 1. Art mit dem 2. Art
Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ist ein Erfahrungssatz. Er existiert in mehreren gleichwertigen Formulierungen. Eine Besonderheit besteht darin, daß er eine Aussage über die Gerichtetheit physikalischer Prozesse macht.	
(6) Der thermische Wirkungsgrad, Unterscheidung der Energieformen nach technischer Nutzbarkeit (E, Ü) **20 min**	Wiederholen der Formulierung nach Clausius, Erkennen, daß der Umwandlung innerer Energie in mechanische Energie durch die Umgebungstemperatur Grenzen gesetzt sind (UG), Erarbeiten der Gleichung für den thermischen Wirkungsgrad (SSA; TB 110/2 c), Nennen bzw. Berechnen von Beispielen

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Der thermische Wirkungsgrad setzt Bedingungen für die rationelle technische Nutzung der inneren Energie. Es ist zwischen technisch nutzbarer und nicht nutzbarer Energie zu unterscheiden.	
(7) Gültigkeitsbereich des zweiten Hauptsatzes (Z) 10 min	Nennen von Beispielen für Gültigkeitsbereiche physikalischer Gesetze, Gültigkeitsbereich des zweiten Hauptsatzes (LV), Zusammenfassung unter Verwendung des LB, S. 86

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Im Rahmen der phänomenologischen Betrachtung der Thermodynamik sind für die Behandlung des zweiten Hauptsatzes zwei Stunden vorgesehen, die zweckmäßig als Einheit betrachtet werden sollten.
Bei der Thematik zweiter Hauptsatz ist die Spanne zwischen dem vollständigen wissenschaftlichen Inhalt des Stoffes und dem davon den Schülern vermittelten Anteil größer als beim ersten Hauptsatz. Wenn mit den erarbeiteten Grundlagen das Ziel erreicht werden soll, daß die Schüler eine ausreichende Allgemeinbildung besitzen, auf deren Basis sie später ihr Wissen erweitern können, muß bei der Stoffvermittlung der Lehrer von der vollständigen theoretischen Kenntnis des zweiten Hauptsatzes ausgehend unterrichten. Besonders groß ist der Unterschied zwischen der Angabe des Gültigkeitsbereichs des zweiten Hauptsatzes, wie sie als Mitteilung im Unterricht erfolgt, und deren Begründung (vgl. Dialektik der Natur von Fr. Engels). Es sei an dieser Stelle darauf verwiesen, daß die Nutzung von fossilen Energieträgern in Wärmekraftanlagen in der Stoffeinheit „Thermodynamisches Verhalten der Stoffe" ausführlich erörtert wird. Hier sollte zunächst der Schwerpunkt auf den thermischen Wirkungsgrad gelegt werden. In den meisten Fällen sollte man die philosophischen Bezüge des Gültigkeitsbereiches des zweiten Hauptsatzes den Schülern nicht erläutern. Sie sind damit überfordert.
(1; 2) Die als Wiederholung und Leistungskontrolle am Beginn der ersten Stunde gelöste Aufgabe zur isobaren Wärmeübertragung lenkt die Schüler auf die Erkenntnis der Richtung der Wärmeübertragung und stellt auch eine Motivation der weiteren Arbeit dar.

(3) Bei der Unterscheidung von reversiblen und irreversiblen Prozessen können wiederholende Ausführungen der Schüler auf der Grundlage der 6. Stunde der Stoffeinheit „Kinetisch-statistische Betrachtungen" genutzt werden.
Sehr wesentlich für den späteren Ausbau der Kenntnisse ist im Zusammenhang mit reversiblen Prozessen die gründliche Erläuterung quasistatischer Zustandsänderungen als Modell. Dazu können als Beispiele die Expansion und Kompression eines Gases (LB, S. 83, Bild 83/1) dienen.

(5) Mit der Formulierung des zweiten Hauptsatzes nach Planck erfassen die Schüler meist leicht die Unmöglichkeit des Perpetuum mobile 2. Art. Auf einen Vergleich mit dem 1. Art sollte nicht verzichtet werden Im Zusammenhang mit der bei irreversiblen Prozessen auftretenden Änderung der inneren Energie wird den Schülern erklärt, daß Energieformen technisch unterschiedlich „wertvoll" sind.

(6) An die Erarbeitung der Gleichung für den thermischen Wirkungsgrad sollte sich die Durchrechnung eines Zahlenbeispiels anschließen. Diese Thematik ist gut geeignet, um den Schülern die Objektivität der Naturgesetze und die Stellung des Menschen dazu zu verdeutlichen.

(7) Bei der Erläuterung des Gültigkeitsbereichs sollte anhand der Wiederholung der Gültigkeitsbereiche anderer physikalischer Gesetze den Schülern bewußt gemacht werden, daß der zweite Hauptsatz in dieser Hinsicht keine Ausnahme darstellt.

Tafelbild

Bild 110/1

Irreversible und reversible Prozesse

Wärme kann nie von selbst von einem System niederer Temperatur auf ein System höherer Temperatur übergehen.

	irreversibel	reversibel
Umkehrung	nicht ohne zusätzliche Veränderungen am System bzw. Umgebung	ohne zusätzliche Veränderungen am System bzw. Umgebung
Beispiele	Temperaturausgleich	Kompression und Expansion eines Gases ohne Reibung
	Diffusion (Konzentrationsausgleich)	Pendel ohne Reibung
	Vorgänge mit Reibung	Fall und Reflexion einer Kugel ohne Reibung

a

b

Bild 110/2

Der thermische Wirkungsgrad η_{th}

Definition

$$\eta = \frac{\text{Nutzenergie}}{\text{aufgewendete Energie}}$$

Bezogen auf Wärme und mechanische Arbeit:

$$\eta_{th} = \frac{|W_{mech}|}{Q_{zu}} \quad \text{mit } |W_{mech}| = Q_{zu} - |Q_{ab}|$$

$$= \frac{Q_{zu} - |Q_{ab}|}{Q_{zu}}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_{ab}}{T_{zu}}$$

c

Stoffeinheit Thermodynamisches Verhalten der Stoffe

9 Stunden

Vorbemerkungen

Einige Sachverhalte dieser Stoffeinheit sind den Schülern bereits aus dem Unterricht in den Klassen 6 und 8 qualitativ bekannt. Sie werden unter Einbeziehung des in den Stoffeinheiten 2.1. und 2.2. erworbenen Wissens und Könnens auf einem höheren Niveau betrachtet.
Das betrifft das in Klasse 8 erworbene Wissen über die Aggregatzustandsänderungen. Hier erfolgt eine Erweiterung und Vertiefung durch die Definition der spezifischen Schmelz- und Verdampfungswärme sowie das Aufstellen von Energiebilanzen mit Hilfe der kalorischen Gleichungen.
Das in Klasse 6 anschaulich eingeführte Verhalten der Stoffe in Gebieten ohne

Phasenänderung wird nun quantitativ beschrieben. Die Schüler werden befähigt, mit den erarbeiteten Gleichungen physikalisch-technische Aufgaben zu lösen.
Zur gasförmigen Phase werden in Klasse 8 eine Form der Zustandsgleichung des idealen Gases sowie die Gesetze der isobaren, isochoren und isothermen Zustandsänderungen genannt. In der Klasse 11 werden die Gleichungen bis zur Anwendungsbereitschaft entwickelt, wobei die Methode des deduktiven Schließens den Schülern bewußt gemacht und zur Erkenntnisgewinnung genutzt wird. Neu eingeführt wird die adiabatische Zustandsänderung. Deren sichere Beherrschung durch die Schüler ist besonders im Hinblick auf die technischen Anwendungen wichtig.
Für die ersten Stunden dieser Stoffeinheit eignet sich das T-Q-Diagramm gut als systematisierendes Element.
In Klasse 8 lernten die Schüler den Begriff ideales Gas kennen, in der Stoffeinheit 2.1. erfolgt eine ausführliche Behandlung aus kinetisch-statistischer Sicht und hier nun eine Anwendung auf Zustandsänderungen sowie eine Beziehung zu realen Gasen. Dabei erwerben die Schüler Fähigkeiten in der Anwendung der Modellmethode. Nicht vollständig modellhaft sind die Phasenübergänge zu beschreiben, da für feste und flüssige Stoffe den Schülern kein geeignetes Modell vermittelt wird. Zum thermodynamischen Verhalten der Stoffe sind zahlreiche Experimente bekannt, auf die in den Stundenentwürfen z. T. verwiesen wird. In einem abgewogenen Maß von Experiment und geistiger Durchdringung kann besonders in den Stunden 1 bis 4 dieser Stoffeinheit die Bedeutung der Messungen neben der Anwendung von Zustandsgleichungen für die Erkenntnisgewinnung in der phänomenologischen Thermodynamik deutlich gemacht werden. Bei der Durchführung bzw. Erläuterung von Messungen sollten die Möglichkeiten zur Erziehung zu sorgfältiger, gewissenhafter und sauberer Arbeit genutz werden.
Der Unterrichtsstoff der Stoffeinheit 2.2.2. bietet viele Möglichkeiten, die Einheit von Theorie und Praxis den Schülern bewußt zu machen (z. B. $p \cdot V =$ konst. als Formulierung der kinetischen Gastheorie und als experimentell gewonnenes Gesetz). Darauf sollte nicht verzichtet werden. Bei der Behandlung des thermodynamischen Verhaltens der Stoffe werden auch Vorleistungen für das Praktikum erbracht (Gruppenexperimente II/4, III/3 und III/4). Sie bestehen darin, daß die Schüler im Praktikum zu verwendende Geräte kennenlernen (p-V-T-Gerät, Gerät zur Längenänderung), Hilfen zur Aufstellung der benötigten Energiebilanzen erhalten (spezifische Schmelzwärme von Eis) und ihre Kenntnisse zu den Fehlerbetrachtungen erweitern (Schätzen absoluter Fehler am p-V-T-Gerät und am Feinmeßzeiger zum Gerät zur Demonstration der Längenänderung, Berechnen relativer Fehler, Unterscheiden zufälliger und systematischer Fehler).
Die Forderung, daß die Schüler sicher mit Diagrammen arbeiten können, wird in dieser Stoffeinheit besonders am Beispiel des p-V-Diagramms erfüllt. Die Schüler stellen solche Diagramme zunächst für eine Zustandsänderung auf und wenden sie bei einer Aufeinanderfolge von Zustandsänderungen wie beim Gasturbinen- und Kraftwerksprozeß an. Diese Prozesse werden in der 7. und 8. Stunde der Stoffeinheit behandelt und fassen vor der Klassenarbeit nochmals wesentliche Teile des gesamten Stoffgebietes Thermodynamik zusammen.
Der geschlossene Gasturbinenprozeß ist einfach mit dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik zu beschreiben, weil er ohne Transport stoffgebundener Energie über die Systemgrenzen abläuft. Die hohe Temperatur des Gases läßt eine Beschreibung mit dem Modell ideales Gas zu. Dabei kann auch auf die Verwendung von Gasturbinenkraftwerken als Spitzenlastkraftwerke in der DDR hingewiesen werden. Daneben sollten aber auch im Interesse der Wehrerziehung offene Prozesse, wie sie z. B. im Strahltriebwerk ablaufen, erwähnt werden. Beim Kraftwerksprozeß kommen noch Phasenübergänge hinzu.

Die Diskussion des beim zweiten Hauptsatz eingeführten thermischen Wirkungsgrades ermöglicht das Aufzeigen der Einheit physikalischer, technischer und ökonomischer Aspekte. Dabei sollte besonders auch die rationelle Nutzung der Primärenergieträger betrachtet werden. Damit werden auch Vorleistungen für die Stoffeinheit Kernenergie der Klasse 12 erbracht.
Zu der im Lehrplan geforderten Einbeziehung der Umweltbelastung in die Erläuterungen zum Kraftwerksprozeß werden in den Hinweisen zur 8. Stunde Schwerpunkte genannt. Neben einer ständigen Aktualisierung seines Wissens muß hier der Lehrer auch klassenmäßig werten.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente; Beziehungen zum Lehrbuch
1. Die Abhängigkeit des thermodynamischen Verhaltens realer Stoffe von Druck und Temperatur Existenz von Zustandsgleichungen, die das Verhalten realer Stoffe in verschiedenen Druck- und Temperaturbereichen erfassen (qualitativ) Phasen und Phasenübergänge Abhängigkeit des Schmelz- und Siedepunktes vom Druck Ähnlichkeit des thermodynamischen Verhaltens reiner Stoffe	Aggregatzustände und Aggregatzustandsänderungen (Ph 8)	DE zur Abhängigkeit des Siedepunktes und des Schmelzpunktes vom Druck: (PSV 8, V 4.2.1. od. V 4.2.2. und V 3.2.4.) (nicht verbindlich) FO: *T-Q*-Diagramm LB, S. 87 bis 91
2. Energiebilanzen bei Phasenübergängen Definition der spezifischen Schmelz- und Verdampfungswärme Experimentelle Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme von Eis	Einfluß des Wassers auf das Klima (Geo)	DE: Kalorimetrische Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme des Eises (PSV 8; V 3.1.5.) FO: *T-Q*-Diagramm (wie 1. Stunde) Kls: Schülerexperimente Physik Kl. 11/12 LB, S. 91 und 92
3. Das Verhalten der Stoffe in Gebieten ohne Phasenumwandlung Isobare Längen- und Volumenänderung Längen- und Volumenausdehnungskoeffizient Anomalie des Wassers	Abhängigkeit einer Größe von mehreren variablen Größen, Proportionalität (Ma)	Verbindl. DE: Gerät zur qualitativen Demonstration der Längenausdehnung (08343289) Demonstration der Volumenausdehnung Ausdehnung der Flüssig-

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente; Beziehungen zum Lehrbuch
		keiten (PSV 8; V 2.3.1) Kontraktionsapparat nach Tyndall (08340189), LB, S. 92 bis 95
4. Zustandsgleichung des idealen Gases Modell des idealen Gases Zustandsgleichung $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$ spezifische Gaskonstante R Zustandsgleichung in der Form $\frac{p_a \cdot V_a}{T_a} = \frac{p_e \cdot V_e}{T_e}$	Modell und Zustandsgleichung des idealen Gases (Ph 8) Modelle (Ph 9)	Verbindl. DE: Zustandsgleichung idealer Gase (p-V-T-Gerät) FO: p-V-Diagramm von Luft (von Stunde 1 der Stoffeinheit 2.2.1.) LB, S. 95 bis 97
5. Zustandsänderungen des idealen Gases Isotherme, isobare und isochore Zustandsänderungen des idealen Gases Gleichungen der Zustandsänderungen Beziehungen zum ersten Hauptsatz	Begriffe isobar, isotherm, isochor (Ph 8)	FO: Zusammenfassung zu Zustandsgleichung und Zustandsänderungen LB, S. 97 bis 100 Arbeitsblatt* Vorbereiten SV Dieselmotor
6. Adiabatische Zustandsänderungen Adiabatische Expansion und Kompression, Beziehungen zum ersten Hauptsatz	Dieselmotor (Ph 8)	Modell Dieselmotor (08341289) Verbindl. DE: Pneumatisches Feuerzeug (08341589) FO: p-V-Diagramm mit Isothermenschar SV: Dieselmotor LB S. 100 und 101
7. Der Gasturbinenprozeß Blockschaltplan einer Gasturbine mit geschlossener Prozeßführung; p-V-Diagramm mit Zustandsänderungen, thermischer Wirkungsgrad, Offener Gasturbinenprozeß		AT: Strahltriebwerk oder AT: Gasturbinenkraftwerk (nicht mehr im SKUS-Katalog) LB, S. 101 bis 103
8. Der Kraftwerksprozeß (Wärmekraftwerk) Blockschaltbild eines Wärmekraftwerkes p-V-Diagramm mit Zustandsänderungen Umweltprobleme	Wärmekraftmaschinen (Ph 8)	AT: Wärmekraftwerk (nicht mehr im SKUS-Katalog) AT: Atomkraftwerk (08901056) LB, S. 104
9. Klassenarbeit		

1. Stunde: Die Abhängigkeit des thermodynamischen Verhaltens realer Stoffe von Druck und Temperatur

Stundenziele

Die Schüler

- können am Beispiel Wasser die Phasen und Phasenänderungen phänomenologisch erläutern und erkennen, daß alle Stoffe ein ähnliches thermodynamisches Verhalten besitzen;
- wissen, daß zum Schmelzen bzw. Verdampfen einem Körper Energie als Schmelz- bzw. Verdampfungswärme zugeführt werden muß und daß die gleichen Energiebeträge beim Erstarren bzw. Kondensieren frei werden;
- können die Begriffe Schmelztemperatur, Erstarrungstemperatur, Siedetemperatur, Kondensationstemperatur, spezifische Schmelzwärme und spezifische Verdampfungswärme erläutern.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Thermodynamisches Verhalten der Stoffe bestimmt durch Druck und Temperatur Existenz von Zustandsgleichungen (qualitativ) Bedeutung von Messungen (W; Zielorientierung) **10 min**	Nutzung des Einführungsbeispiels LB, S. 87 (SV) Wiederholen der Phasenänderung anhand von Bild 90/1 (LB, S. 90) oder SV dazu Erläutern der Bedeutung von Messungen als Mittel zur Bestimmung des thermodynamischen Verhaltens der Stoffe (LV)
Zum thermodynamischen Verhalten der Stoffe gehört die Abhängigkeit des Zustandes eines Stoffes von Druck und Temperatur. Es existieren Zustandsgleichungen, die das Verhalten realer Stoffe in verschiedenen Druck- und Temperaturbereichen erfassen. Sorgfältig ausgeführte Messungen sind außerdem wichtige Voraussetzungen für das Erkennen des thermodynamischen Verhaltens realer Stoffe.	
(2) Verhalten eines Stoffes bei isobarer Wärmezufuhr (E, W) **20 min**	Beschreiben des Verhaltens eines Stoffes am Beispiel Wasser bei isobarer Wärmezufuhr nach SSA mit LB, S. 88 bis 90, bes. Bilder 89/1, 89/2 u. 89/3 Wiederholen der quasistatischen Zustandsänderung.
Das T-Q-Diagramm zeigt die Phasenübergänge bei isobarer Wärmezufuhr. Die Phasenübergänge sind druckabhängig. Am T-Q-Diagramm und am p-T-Diagramm (bei V = konst.) sind wesentliche Merkmale des thermodynamischen Verhaltens ersichtlich. Bei Phasenübergängen wird die Schmelz- bzw. Verdampfungswärme deutlich.	
(3) Spezifische Schmelzwärme q_S und spezifische Verdampfungswärme q_V (E, W) **10 min**	Definieren von q_S und q_V (LV) (Bilder 89/2 u.89/3) Festigen durch LB, S. 91 Hinweisen auf Druckabhängigkeit (Tabelle: LB, S. 92) Aufsuchen von Werten in TuF

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Schmelzen und Erstarren sowie Verdampfen und Kondensieren sind entgegengesetzte Prozesse; dabei wird Energie zugeführt bzw. abgegeben. Die bei der Phasenumwandlung übertragene Energie hängt von der Masse und vom Stoff ab. Diese Einflüsse werden durch die spezifische Schmelzwärme $q_S = \frac{Q_S}{m}$ und die spezifische Verdampfungswärme $q_V = \frac{Q_V}{m}$ erfaßt.	
(4) Zusammenfassung 5 min	Zusammenfassen und Verallgemeinern (UG, LB, Bild 90/1) HA: (W) Phasenübergänge mit PhÜB, S. 98/99 zur Leistungskontrolle vorbereiten.
Alle reinen Stoffe haben im wesentlichen ein ähnliches thermodynamisches Verhalten. Vergleichbares Verhalten tritt bei unterschiedlichen Drücken und Temperaturen auf.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Diese Stunde hat als Einführung zum Abschnitt 2.2.2. vorwiegend reaktivierenden und vertiefenden Charakter.

(1) Unter Verwendung von Text und Abbildung des Einführungsbeispieles LB, S. 87 wird die phänomenologische Betrachtung des thermodynamischen Verhaltens der Stoffe motiviert. Dazu kann ein technisch interessierter Schüler einen Kurzvortrag halten. Anschließend daran ist durch den Lehrer auf die Existenz von Zustandsgleichungen und auf die Bedeutung von Messungen zum Erfassen des thermodynamischen Verhaltens realer Stoffe zu orientieren.

(2) Zur Einführung des T-Q-Diagramms wird vorgeschlagen, eine selbständige Schülerarbeit mit dem Lehrbuch S. 88 bis 90 zu planen. In der Einführung dazu wird vom Lehrer auf die häufige Verwendung von Werten, die bei isobarer Wärmezufuhr gelten, hingewiesen. Die Überprüfung der Schülerarbeit kann durch die Erläuterung eines T-Q-Diagramms für Wasser durch einen Schüler erfolgen (TB). Der Lehrplan sieht die Behandlung der Druckabhängigkeit der Phasenübergänge nicht vor. Trotzdem sollte im Zusammenhang mit dem T-Q-Diagramm darauf hingewiesen werden. Messungen der Siedetemperatur $\vartheta \neq 100$ °C werden von den Schülern häufig als Meßfehler, nicht als Druckabhängigkeit gedeutet. Ein Demonstrationsexperiment (PSV 8; V 4.2.1. oder V 4.2.2.) kann die Ausführungen unterstützen.
Die im Lehrbuch angegebenen Bemerkungen zur Verwendung des Modells quasistatische Zustandsänderungen sollten in diesen Teil der Stunde einbezogen werden. Das Bewußtmachen der Phasenübergänge als Folge von Gleichgewichtszuständen ist im Interesse der Hochschulreife erforderlich.

2. Stunde: Energiebilanzen bei Phasenübergängen

Stundenziele

Die Schüler

- können die spezifische Schmelzwärme und die spezifische Verdampfungswärme zur Aufstellung von Energiebilanzen und zum Lösen physikalisch-technischer Aufgaben anwenden;
- können das Prinzip der kalorischen Messung auf die Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme anwenden, aus der Energiebilanz eine Gleichung dazu aufstellen und umformen.

Unterrichtsmittel

Geräte zum Experiment Kalorimetrische Bestimmung der Schmelzwärme des Eises (PSV 8, V 3.1.5.)
FO: T-Q-Diagramm (wie LB, Bild 89/2 u. 89/3, ohne eingetragene Begriffe)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) T-Q-Diagramm (W) **10 min**	Wiederholen der isobaren Phasenumwandlung am T-Q-Diagramm (FO oder TB) (K)
(2) Kalorimetrische Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme von Eis bei Normaldruck (E, Ü) **20 min**	Erläutern der Anwendung des Prinzips der kalorischen Messung auf die Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme q_S (LB, Bild 80/1) Aufstellen der Energiebilanz (UG, TB), Angeben der zu messenden Größen und der Meßmethoden (UG, Geräte zum Exp) Nennen von Fehlerquellen, Erkennen grober Fehler, Abschätzen des Einflusses systematischer und zufälliger Fehler (UG), Aufstellen (SSA) und Erläutern (SV) einer Energiebilanz zur Bestimmung der spezifischen Verdampfungswärme (W als HA 1 zur 3. Stunde)
(3) Anwendungsaufgaben **15 min**	Erläutern der Aufgabe 18 (LB, S. 167, UG) Lösen in SSA Vorbereiten der HA 2 (Aufgaben 16 und 17, LB, S. 166/67)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Nachdem in der ersten Stunde dieser Stoffeinheit das Verhalten der Stoffe bei Wärmezufuhr eingeführt worden ist, liegt der Schwerpunkt dieser Stunde auf dem Verhalten beim Phasenübergang, insbesondere bei isobarer Wärmezufuhr. Damit werden Grundlagen für die Anwendung in der 7. und 8. Stunde der Stoffeinheit geschaffen.

(1) Die Stunde kann mit einer Leistungskontrolle anhand der Folie 1 zur Hausaufgabe beginnen. In diese Wiederholung sollte auch die kinetisch-statistische Betrachtungsweise einbezogen werden.

(2) Die Schüler erhalten die Aufgabe, die Experimentieranordnung nach Bild 92/2 (LB) zu erläutern, die die Bestimmung von q_S gestattet (PSV 8; V 3.1.5.). Nachdem das Prinzip, Schmelzen von Eis im Kalorimetergefäß mit warmem Wasser, geklärt ist, wird die Energiebilanz aufgestellt (TB). Anhand der daraus aufgestellten Gleichung zur Bestimmung von q_S werden die zu messenden Größen und deren Meßmethoden erläutert.
Dieses Experiment ist im Praktikum (Gruppenexperiment III/4) enthalten. Deshalb ist eine Durchführung im Unterricht als Demonstrationsexperiment nur dann zu empfehlen, wenn es die Klassensituation erfordert. Zur Festigung des im Lehrplan zur Fehlerbetrachtung geforderten Könnens sollten anhand von im Praktikum verwendeten Geräten die Fehlerquellen dieses Experiments diskutiert werden (anknüpfen an 7. und 8. Stunde der Stoffeinheit 2.2.1.).
Die anschließende Erläuterung der Abwandlung des Experiments zur Bestimmung von q_V für Wasser trägt vorwiegend festigenden Charakter (vgl. dazu PSV 8; V 4.1.8.). Dabei werden auch das deduktive und analoge Schließen geübt.

Tafelbild
Bild 117/1

Wärmeabgabe: Kalorimeter $K(\vartheta_0 - \vartheta_m)$

Wärmeaufnahme: Schmelzen des Eises $m_{Eis} \cdot q_s$

Erwärmen des Schmelzwassers $m_{Eis} \cdot c_W(\vartheta_m - \vartheta_e)$

Energiebilanz: $K(\vartheta_0 - \vartheta_m) = m_{Eis} \cdot q_s + m_{Eis} \cdot c_W(\vartheta_m - \vartheta_e)$

$$q_s = \frac{K(\vartheta_0 - \vartheta_m) - m_{Eis} \cdot c_W(\vartheta_m - \vartheta_e)}{m_{Eis}}$$

3. Stunde: Das Verhalten der Stoffe in Gebieten ohne Phasenumwandlung

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Gleichungen $\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$ für die isobare Längenänderung sowie $\Delta V = V \cdot \gamma \cdot \Delta T$ für die isobare Volumenänderung und wissen, daß $\gamma \approx 3\alpha$ ist, wobei α und γ stoff- und temperaturabhängig sind;
- können damit und mit Hilfe daraus abgeleiteter Gleichungen physikalisch-technische Aufgaben lösen.

Unterrichtsmittel

Gerät zur qualitativen Demonstration der Längenausdehnung (08 34 32 89) (Verbindliches Demonstrationsexperiment)
Geräte wie PSV 8, V 2.3.1. Kontraktionsapparat nach Tyndall (08 34 01 89)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Spezifische Verdampfungswärme (K) Verhalten der Stoffe in Bereichen ohne Phasenumwandlung (Zielstellung) **10 min**	Erläuterung der experimentellen Bestimmung der spezifischen Verdampfungswärme (Aufstellen der Energiebilanz, SV als K)
Mit zunehmender Temperatur vergrößern sich in Bereichen ohne Phasenumwandlung bei festen und flüssigen Körpern die mittleren Gleichgewichtsabstände der Teilchen. Die Körper verändern ihr Volumen bei Temperaturänderung.	
(2) Quantitative Beschreibung der Längen- und Volumenänderung, Längenausdehnungskoeffizient α Volumenausdehnungskoeffizient γ (E) **20 min**	Herleiten von $\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$ (LB, S. 93 und Bilder 93/2 und 93/3, TB 119/1 a), Qualitative Demonstration der Stoffabhängigkeit von α (DE) Ableiten von $\Delta V = V \cdot \gamma \cdot \Delta T$ mit $\gamma \approx 3\alpha$, Durchführen von Exp 2 und Exp 3 Hinweis auf Temperaturabhängigkeit der Koeffizienten (Bezugstemperatur $\vartheta_0 = 0$ °C (LV) (TB 119/1 b und c) Bearbeiten der Aufträge (LB, S. 95, Aufgabe 2 bis 5, Fst)
Bei Temperaturänderung eines festen Körpers ändern sich alle Abmessungen. Bei Berücksichtigung einer Abmessung gilt für feste Körper $\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$, für Volumenänderung $\Delta V = V \cdot \gamma \cdot \Delta T$, wobei $\gamma \approx 3\alpha$. α und γ sind temperatur- und stoffabhängig. Flüssigkeiten dehnen sich stärker aus als feste Körper.	
(3) Anomalie des Wasser **5 min**	UG unter Verwendung des LB, Bild 98/2 Auftrag, LB, S. 95, Aufgabe 6 (Fst)
Wasser besitzt bei 4 °C seine größte Dichte. (Gewässer frieren deshalb von oben nach unten zu.)	
(4) Lösen von Aufgaben zur technischen Anwendung der isobaren Längen- u. Volumenänderung (Ü) **10 min**	Erläutern der Lösung der Aufgabe 20 oder 22 (LB, S. 167) Erteilen der HA: Aufgabe 21 (LB, S. 167) oder Auftrag (1) LB, S. 95, außerdem Vorbereiten der K ideales Gas (W aus 2.1.)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

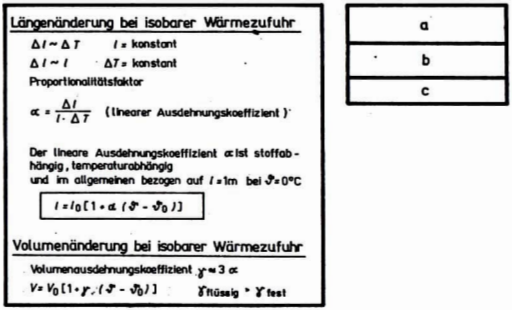
(1) Nachdem im Unterricht die experimentelle Bestimmung von q_s erläutert wurde, bietet die Leistungskontrolle die Möglichkeit, das Können der Schüler, Kenntnisse auf ähnliche Probleme anzuwenden, zu überprüfen. Aus der Problemstellung anhand von Beispielen aus der Technik (z. B. Rollenlager bei Brücken) wird die Zielstellung, die Bereiche ohne Phasenumwandlung bei isobarer Erwärmung ebenfalls quantitativ zu untersuchen, motiviert.

(2) Wegen der längeren Anheizzeit, auch bei vorgewärmtem Wasser, ist das Gerät zur qualitativen Demonstration der Längenänderung rechtzeitig vorzubereiten, um die Stoffabhängigkeit von α an entsprechender Stelle demonstrieren zu können. Beim Aufstellen der Gleichung $\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$ ist erneut die Möglichkeit gegeben,

die Methodik des Untersuchens der Abhängigkeit einer Größe von mehreren Variablen bewußt zu machen. Zur Zusammenfassung zum linearen Ausdehnungskoeffizienten läßt sich sehr gut das Lehrbuch, S. 93 verwenden. Aus Bild 94/1 erkennen die Schüler leicht die Beziehung $\gamma \approx 3\alpha$ und können die Gleichung $\Delta V = V \cdot \gamma \cdot \Delta T$ analog zur Gleichung $\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T$ erläutern.
Dabei ist die Möglichkeit gegeben, differenziert Schüler in der den Teil (2) der Stunde abschließenden Übung den Näherungswert $\gamma \approx 3\alpha$ aus der Proportion $V : V_0 = l^3 : l_0^3$ mit $l^3 = l_0^3(1 + \alpha \cdot \Delta T)^3$ als fakultative Aufgabe herleiten zu lassen. Einen ähnlichen Charakter hat der Auftrag (1). Schwächere Schüler sollten auf die Aufträge (2) bis (5) orientiert werden. Bei dieser der Festigung dienenden Übung können Schülergruppen auch einzelne Aufgaben bearbeiten, deren Ergebnisse anschließend erläutert und ausgetauscht werden. Die Experimente 2 und 3 sind nicht verbindlich.

(3) Der Lehrplan enthält den Begriff Anomalie des Wassers nicht explizit, jedoch ist er implizit in dem Satz S. 19 „Veränderung von Eigenschaften des Wassers bei isobarer Wärmezufuhr" enthalten. Die Information darüber kann auch als Hausaufgabe nach Lehrbuch S. 94 gestellt und dadurch mehr Zeit für die Übung (4) gewonnen werden.

Tafelbild
Bild 119/1



4. Stunde: Zustandsgleichung des idealen Gases

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, unter welchen Bedingungen reale Gase mit dem Modell ideales Gas beschrieben werden können;
- kennen die Zustandsgleichung in der Form $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$ und die spezifische Gaskonstante R;
- können mit Hilfe der Zustandsgleichung einfache Aufgaben lösen.

Unterrichtsmittel

p-V-T-Gerät (SKUS Nr. 08 32 08 89)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Gasförmige Phase (Zielstellung) Modell ideales Gas (K) **10 min**	Motivation mit Aufgabe 26 (LB, S. 167) oder T-Q-Diagramm Wiederholen der Merkmale und der Bedeutung von Modellen am Beispiel des Modells ideales Gas (SV) Erläutern der Annäherung realer Gase an das Modell (LV) (LB, S. 95 und 96; TB 121/1 a) Lösen des Auftrages 7 (LB, S. 95)
Zur Beschreibung der gasförmigen Phase kann bei Beachtung des Gültigkeitsbereiches das Modell des idealen Gases verwendet werden. Reale Gase können annähernd als ideal betrachtet werden, wenn $p \to 0$ und $V \to \infty$ bzw. das Gas möglichst weit vom Verflüssigkeitspunkt entfernt ist.	
(2) Die allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases und die spezifische Gaskonstante R (E) $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$ **10 min**	Druck-Volumen-Gesetz (LB, Bild 70/1 und 70/2) und kinetisch-statistische Betrachtung (10. Stunde der Stoffeinheit 2.1, W, UG) Herleiten der Zustandsgleichung (UG, TB 121/1 b) Erläutern der spezifischen Gaskonstante R (LB, S. 96, LV)
Unter Verwendung der spezifischen Gaskonstante R lautet die Zustandsgleichung $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$.	
(3) Die Zustandsänderung des idealen Gases (E) **20 min**	Herleiten der allgemeinen Zustandsgleichung für zwei Zustände aus der Gleichung $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$ (UG, TB 121/1 c) Bestätigung der Gleichung $\frac{p \cdot V}{T} = \text{konst.}$ mit verbindl. DE Aufnehmen einer Meßreihe, Auswertung, Fehlerbetrachtung (TB 121/1 d) (Auswertung eventuell als HA)
Die allgemeine Zustandsgleichung des idealen Gases lautet: $\frac{p_a \cdot V_a}{T_a} = \frac{p_e \cdot V_e}{T_e}$ für m und R konstant.	
(4) Zusammenfassung **5 min**	Bewußtmachen des Erkenntnisweges unter starker Betonung der Einheit von phänomenologischer und kinetisch-statistischer Betrachtung (UG) Erläutern des Lösungsweges der Aufgabe 26 (UG) Erteilen der HA (LB, S. 167, Aufgabe 27)
Am Beispiel der Aufstellung der Zustandsgleichung für das ideale Gas wird der Erkenntnisweg Experiment → Theorie (deduktives Schließen) → experimentelle Prüfung deutlich.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Mit der Herleitung und der experimentellen Bestätigung der allgemeinen Zustandsgleichung des idealen Gases wird durch die eingehende Betrachtung der gas-

förmigen Phase an die vorhergehenden Stunden angeschlossen, außerdem werden die folgenden Stunden (reversible Zustandsänderungen) vorbereitet.

(1) Ein vorbereiteter Schülervortrag sichert mit der Wiederholung des Modells ideales Gas unter Verwendung der Seiten 49/50 des Lehrbuches das Ausgangsniveau für diese Stunde. Bei der Anwendung des Modells auf die Beschreibung der gasförmigen Phase sollte unbedingt die Einheit der Betrachtungsweisen hervorgehoben werden.

(2) Als Ausgang für die Herleitung der allgemeinen Zustandsgleichung dient das Druck-Volumen-Gesetz. Um die Einheit der Betrachtungsweisen zu zeigen, sollte betont werden, daß das Gesetz $p \cdot V =$ konst. sowohl experimentell gewonnen (Boyle/Mariotte) als auch mit dem Modell ideales Gas hergeleitet werden kann.

(3) Bei der Umformung $\frac{p_a \cdot V_a}{T_a} = \frac{p_e \cdot V_e}{T_e}$ (TB121/1c) sollte vor allem auf den Unterschied in der Beschreibung der Zustandsänderung mit Anfangs- und Endzustand zur Beschreibung eines Zustandes mit $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$ hingewiesen werden. Die Aufnahme einer Meßreihe, die Auswertung in selbständiger Schülerarbeit und die Fehlerbetrachtung erfordern einen relativ großen Zeitaufwand. Die Auswertung der Messungen kann deshalb auch als Hausaufgabe gestellt werden.

(4) Die Zusammenfassung sollte so erfolgen, daß der Erkenntnisweg vom Boyle-Mariotteschen Gesetz über die Aufstellung der Zustandsgleichung zur Überprüfung in der Praxis (Demonstrationsexperiment) deutlich wird. Die Erläuterung der Aufgabe 26 führt zur einführenden Problemstellung zurück.

Tafelbild

Bild 121/1

Annäherung der realen Gase an das Modell ideales Gas $p \to 0$ $V \to \infty$ Gas möglichst weit von Verflüssigung entfernt	phänomenol. Betr. / kin. stat. Betr. $p \cdot V =$ konstant / $p \cdot V = \frac{2}{3} N \cdot E_{kin} =$ konst. $p \cdot V \sim T$ / ($m =$ konstant) $V \sim m$ / (p, T konstant) $p \cdot V \sim m \cdot T$ $\boxed{p \cdot V = R \cdot m \cdot T}$ Zustands-gleichung (R: spezifische Gaskonstante)
$\frac{p \cdot V}{T} = m \cdot R =$ konstant Gleichung für zwei Zustände (m und R konstant) $\frac{p_a \cdot V_a}{T_a} = \frac{p_e \cdot V_e}{T_e}$	Meßprotokoll Nr. / p_i in Pa / V_i in cm³ / T in K / $\left\{\frac{p \cdot V}{T}\right\}$ 1 2 3 4 5

a	b
c	d

5. Stunde: Zustandsänderungen des idealen Gases

Stundenziele

Die Schüler

— kennen die Begriffe isotherme, isochore und isobare Zustandsänderungen als reversible Prozesse des idealen Gases;

können die Bedingungen und die p-V-Diagramme für Zustandsänderungen angeben, die speziellen Gleichungen aus der allgemeinen Zustandsgleichung herleiten und damit Aufgaben lösen;
festigen das Aufstellen von Energiebilanzen mit Hilfe des ersten Hauptsatzes.

Unterrichtsmittel

Arbeitsblatt zu den Zustandsänderungen;
FO: Arbeitsblatt (Lösung)
FO: Zusammenfassung der Zustandsänderungen nach PhÜb S. 97 oben

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Zustandsgleichung und Zustandsänderungen des idealen Gases (W und Zielstellung) 10 min	Wiederholen des Modells „Ideales Gas" und der Zustandsgleichung (K) Aus dem Nennen bekannter spezieller Zustandsänderungen ergibt sich die Zielstellung
Zustandsänderungen können isotherm, isobar und isochor verlaufen.	
(2) Gleichungen und Energiebilanzen für isobare, isochore und isotherme Zustandsänderungen des idealen Gases (E) 20 min	Zusammenfassen des Vorgehens für die deduktive Herleitung der Zustandsänderungen im TB 123/1a (LV) Erarbeiten der Zustandsänderungen, Aufstellen der entsprechenden Energiebilanzen (UG, SSA, TB 123/1b, c, d)
Aus der allgemeinen Zustandsgleichung für ein ideales Gas erhält man deduktiv spezielle Gleichungen für isotherme, isochore und isobare Zustandsänderungen. Spezielle Gesetze sind im allgemeinen Gesetz zusammengefaßt.	
(3) Übung und Zusammenfassung 15 min	Lösen von Aufgaben (LB, S. 167, Nr. 23 bis 25) 3 Schüler arbeiten dazu parallel an der Tafel unter Kontrolle des Lehrers, die übrigen wählen mindestens eine Aufgabe davon aus, Diskutieren der Ergebnisse, Prinzip der Zustandsänderungen (UG) (FO: Ph ÜB) Hausaufgabe: Auswahl einer Aufgabe (LB, S. 167, Aufgaben 20 bis 30) Wiederholen der Prozesse des Dieselmotors zur Leistungskontrolle (HA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Die 5. Stunde schließt unmittelbar an die in der 4. Stunde behandelte Zustandsgleichung an, ermöglicht aber auch die Wiederholung des Aufstellens von Energiebilanzen mit dem ersten Hauptsatz. Es wird jeweils von der allgemeinen Zustandsgleichung auf spezielle geschlossen. Die Anordnung im Lehrbuch ist gut geeignet, den Schülern die Anwendung des deduktiven Schließens erneut bewußt zu machen. Damit wird auch eine Verbindung zur Behandlung der Schließweisen im Mathe-

matikunterricht möglich. Auf die Bedeutung der experimentellen Prüfung in den Naturwissenschaften ist dabei hinzuweisen. Es wird vorgeschlagen, die in der Zielstellung genannten Zustandsänderungen in einer Stunde zu behandeln, da sie sich von der adiabatischen Zustandsänderung hinsichtlich des Konstanthaltens einer Zustandsgröße grundsätzlich unterscheiden.

(1) An dieser Stelle sollte die Möglichkeit genutzt werden, das in der 10. und 11. Stunde der Stoffeinheit 2.2.1. eingeführte Modell der quasistatischen Zustandsänderung reversibler Prozesse zu wiederholen.

(2) Zunächst wird im Tafelbild 123/1a die Gliederung dazu vom Lehrer dargestellt oder im Unterrichtsgespräch erarbeitet. Durch entsprechende Hinweise wird damit auch die Entwicklung der Techniken der geistigen Arbeit (wie Vergleichen und Systematisieren) gefördert. Nach der Erarbeitung des Tafelbildes 123/1b im Unterrichtsgespräch bei starker Führung durch den Lehrer sollte eine entsprechende Darstellung der Tafelbilder c und d unter Verwendung des Lehrbuchs (S. 98 bzw. 99) von Schülern vorgenommen werden.
Als zweite Variante für diesen Teil der Stunde wird ein Arbeitsblatt vorgeschlagen, an dem die Schüler die Zustandsänderungen unter Verwendung des Lehrbuches erarbeiten. Auf diesem Arbeitsblatt ist eine Spalte für die Erarbeitung der adiabatischen Zustandsänderungen in der folgenden Stunde vorgesehen. Die Überprüfung des Arbeitsblattes kann vom Lehrer (auch mit Bewertung) vorgenommen werden, oder die Schüler vergleichen ihre Arbeitsblätter an einer vom Lehrer projizierten Folie (Lösung zum Arbeitsblatt).
Da der Lehrplan die Behandlung der thermodynamischen Temperaturskale nicht explizit fordert, sollten die im Zusammenhang mit der isobaren Zustandsänderung im Lehrbuch enthaltenen Bemerkungen zum absoluten Nullpunkt auch das Niveau der Erläuterungen bestimmen.

(3) In der Zusammenfassung sollte auf die Änderung einer Größe in Abhängigkeit einer zweiten bei Konstanthalten der dritten als gemeinsames Merkmal der betrachteten Zustandsänderungen hingewiesen werden. Dazu kann die Folie, gestaltet nach Physik in Übersichten S. 97 oben, verwendet werden.

Tafelbild
Bild 123/1

Spezielle Zustandsänderung Bedingung Anfangs- und Endzustand Gesetz p-V-Diagramm Energiebilanz $U_e - U_a = Q + W$	**Isotherme Zustandsänderung** T = konstant $p_a, V_a; p_e, V_e$; $\boxed{p_a \cdot V_a = p_e \cdot V_e}$ Wegen T=konstant $\curvearrowright \Delta U = 0$ $\boxed{-W_v = Q}$ keine Änderung der inneren Energie
Isochore Zustandsänderung V = konstant $T_a, p_a; T_e, p_e$; $\boxed{\frac{p_a}{T_a} = \frac{p_e}{T_e}}$ $\boxed{U_e - U_a = Q}$ Aus V=konstant $\curvearrowright W_v = 0$ keine Verrichtung von Arbeit	**Isobare Zustandsänderung** p = konstant $T_a, V_a; T_e, V_e$; $\boxed{\frac{V_a}{T_a} = \frac{V_e}{T_e}}$ $\boxed{U_e - U_a = Q_p + W_v}$ Änderung der inneren Energie und Verrichtung von Arbeit

a	b
c	d

6. Stunde: Adiabatische Zustandsänderungen

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß natürliche, schnell ablaufende Prozesse in guter Näherung als adiabatisch betrachtet werden können;
- können adiabatische Zustandsänderungen im p-V-Diagramm darstellen bzw. daraus erkennen.

Unterrichtsmittel

Modell des Dieselmotors (08 34 12 89)
Pneumatisches Feuerzeug (08 34 15 89)
FO 7: p-V-Diagramm mit Isothermenschar

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Arbeitsweise des Viertakt-Diesel-motors (W) **10 min**	Kurzer Schülervortrag zur Arbeitsweise des Dieselmotors unter Verwendung des Modells (K) Wiederholen des ersten Hauptsatzes mit dem Sonderfall $Q = 0$ (UG)
(2) Adiabatische Zustandsänderungen (E) **20 min**	Am verbindl. DE „Pneumatisches Feuerzeug" und der Zündung des Dieselmotors Zielstellung für weitere Erarbeitung, Erläutern der adiabatischen Zustandsänderung mit der Bedingung $Q = 0$ (LV) Erarbeitung der Veränderlichkeit von p, T, V und der Begriffe adiabatische Kompression und Expansion (SSA) unter Verwendung von Bild 101/1 (LB, TB), Erläutern von Beispielen adiabatischer Zustandsänderungen (Kompressor, Nebelkammer, UG)
Für $Q = 0$ folgt aus dem ersten Hauptsatz $\Delta U = W$. Diese Zustandsänderung heißt adiabatisch. Bei adiabatischer Kompression bzw. Expansion ändern sich Druck, Temperatur und Volumen. Schnell ablaufende Prozesse verlaufen annähernd adiabatisch. Die Zündung im Dieselmotor beruht auf der adiabatischen Kompression der Luft.	
(3) p-V-Diagramme (Ü und Z) **15 min**	Darstellen von Zustandsänderungen im p-V-Diagramm Erkennen von Zustandsänderungen aus p-V-Diagrammen (FO 7)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Diese Stunde hat zwei Funktionen: Einmal schließt sie mit der Behandlung der adiabatischen Zustandsänderung die unterrichtliche Behandlung des thermodynamischen Verhaltens der Stoffe ab, zum anderen wird mit einer zusammenfassenden Wiederholung der Zustandsänderungen die Vertiefung und Anwendung der Begriffe und Gesetze in den folgenden beiden Stunden vorbereitet.

(1) Mit einem kurzen Schülervortrag zum Aufbau und zur Arbeitsweise des Dieselmotors unter Verwendung eines Modells wird die Behandlung der adiabatischen Zustandsänderungen vorbereitet. Deshalb erfolgt auch die Wiederholung des ersten Hauptsatzes mit dem Sonderfall $Q = 0$.

(2) Das verbindliche Demonstrationsexperiment zur Zündung des Dieselmotors kann mit dem Pneumatischen Feuerzeug (z. B. in PhyS 2/75 beschrieben) durchgeführt werden und ist geeignet, die Aufmerksamkeit der Schüler auf die anschließende Behandlung der adiabatischen Zustandsänderungen zu lenken. An deren Definition schließt sich eine Erläuterung des näherungsweise adiabatischen Verlaufs schnell ablaufender natürlicher Prozesse an. Besonderer Wert sollte dabei auf die Betrachtung der Energieumwandlung gelegt werden, denn es bietet sich hiermit erneut die Möglichkeit, den ersten Hauptsatz zu wiederholen. Mit dem Hinweis darauf, daß sich p, T und V ändern, wird der Unterschied zu den bisher behandelten Zustandsänderungen bewußt gemacht (Tafelbild).

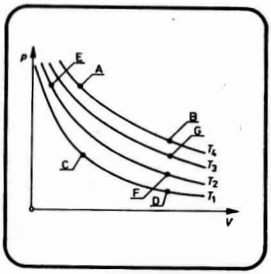
(3) Zur Realisierung der im Lehrplan geforderten Tätigkeiten wird eine zusammenfassende Übung anhand einer Folie vorgeschlagen. Die Schüler nennen zu vorgegebenen Punkten die entsprechenden Zustandsänderungen. Erläuterungen zu technischen Anwendungen und die Beziehung zum ersten Hauptsatz werden einbezogen.
Falls das Arbeitsblatt in der 5. Stunde nicht zur Erarbeitung verwendet wurde, kann es auch an dieser Stelle der Wiederholung und Festigung dienen.
Es besteht hier auch die Möglichkeit, durch einen Schüler, der z. B. an der Flugsportausbildung der GST teilnimmt oder an diesen Problemen interessiert ist, die Nutzung der adiabatischen Naturerscheinung Thermik zum Segelfliegen kurz erläutern zu lassen. Als weitere Möglichkeit bietet sich an, einen Schüler (Modellbauer der GST, Schiffsmodellbau, Flugmodellbau) über die Funktion und seine Erfahrungen im Umgang mit Modell-Selbstzündermotoren (Zweitaktmotoren) sprechen zu lassen.

Tafelbild
Bild 125/1

Adiabatische Kompression	Adiabatische Expansion
$U_e - U_a = W_V$	$U_e - U_a = W_V$
$W_V < 0 \rightarrow U_e < U_a$	$W_V < 0 \rightarrow U_e < U_a$
V nimmt ab	V wächst
p und T steigen	p und T sinken
Phasenumwandlung B: Schmelzwärme Phasenumwandlung D: Verdampfungswärme Bereiche ohne Phasenumwandlung: A, C, E temperaturabhängige Längen- bzw. Volumenänderung gasförmige Phase E: Zustandsänderung durch allgemeine Zustandsgleichung und spezielle Gleichungen beschrieben	

a
b

Folie
Bild 126/1



7. Stunde: Der Gasturbinenprozeß

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den geschlossenen Gasturbinenprozeß als Aufeinanderfolge von Zustandsänderungen des idealen Gases, das p-V-Diagramm sowie den Blockschaltplan einer Gasturbinenanlage;
- erkennen die Bedeutung dieses Prozesses als Kreisprozeß für die kontinuierliche Umwandlung von Wärme in Arbeit;
- erkennen die Bedeutung des Gasturbinenprozesses für die Energiewirtschaft, für das Verkehrswesen und besonders auch für die Landesverteidigung sowie die Notwendigkeit der rationellen Verwendung der Primärenergieträger.

Unterrichtsmittel

AT: Strahltriebwerk
AT: Gasturbine

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Blockschaltplan einer Gasturbine mit geschlossener Prozeßführung (E) **10 min**	Erläuterungen zum Blockschaltplan anhand Bild 102/1 (LB, LV) Zielstellung: Kennenlernen wesentlicher Beispiele der Anwendung in der Volkswirtschaft
Der Gasturbinenprozeß ist ein Kreisprozeß. Mit Gasturbinen wird kontinuierlich Wärme in Arbeit umgewandelt.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(2) Aufeinanderfolge der Prozesse und deren Darstellung im p-V-Diagramm Energiebilanz und thermischer Wirkungsgrad η_{th} (E und W) **15 min**	Erläutern der Prozesse unter Verwendung von Bild 102/2 (LB, LV, UG) Ableiten des thermischen Wirkungsgrades für Gasturbinen aus der Energiebilanz, Herstellen von Beziehungen zu den Hauptsätzen (UG), Lösen einer Aufgabe zum thermischen Wirkungsgrad (SSA)
In guter Näherung können die Prozesse in Gasturbinen als adiabatische und isobare Zustandsänderungen des idealen Gases betrachtet werden. Der schon aus dem zweiten Hauptsatz abgeleitete thermische Wirkungsgrad ist auch bei Gasturbinen die Grenze der Ausnutzung der Primärenergie.	
(3) Möglichkeiten der Verbesserung des Wirkungsgrades (Ü) **10 min**	Diskussion des Energiediagramms (LB, Bild 103/1) Erörtern der Möglichkeiten der Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades (LB, S. 103) Stellen der HA 1: Geschlossener Gasturbinenprozeß (Vorbereitung von K)
Den Prozeßtemperaturen sind durch Werkstoffe nach oben und Kühlmittel nach unten Grenzen gesetzt. Damit gibt es nur begrenzte Möglichkeiten zur Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades. Es ist notwendig, die vorhandenen Energieträger rationell zu nutzen.	
(4) Der offene Gasturbinenprozeß **5 min**	Informieren über offenen Gasturbinenprozeß; Unterscheidung der offenen und geschlossenen Prozeßführung (UG) Kennenlernen von Anwendungen (LV)
(5) Zusammenfassung **5 min**	Nennen der Teile des Systems „Gasturbine“ Skizzieren des p-V-Diagramms an der Tafel; Nennen der Zustandsänderungen; Nennen einiger Einsatzgebiete (Schüler); Erläutern der HA 2 (z. B. Aufgabe 35, LB, S. 167)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die Stunde wird vom Lehrer mit der Projektion geeigneter Bilder aus technischer Literatur oder der Anschauungstafel „Strahltriebwerk“ eingeleitet. Aus dieser Motivation ergibt sich dann die Zielstellung, wesentliche volkswirtschaftliche Anwendungen der Hauptsätze und der Zustandsänderungen kennenzulernen. Aus außerunterrichtlicher Information ist teilweise die Gasturbine mit offener Prozeßführung bekannt. Der im Unterricht laut Lehrplan zu betrachtende geschlossene Prozeß ist deshalb besonders zu betonen. Der Schwerpunkt der unterrichtlichen Behandlung liegt bewußt auf dem geschlossenen Prozeß, weil die Beschreibung der Zustandsänderungen relativ einfach ist und die gesamte Behandlung bisher für sogenannte geschlossene Systeme, d. h. ohne Änderung der inneren Energie durch den Transport stoffgebundener Energie erfolgte.

(2) Das Lösen einer Aufgabe zur Bestimmung des thermischen Wirkungsgrades in selbständiger Schülerarbeit dient der Festigung und bereitet das Verständnis für das Energiediagramm (Bild 103/1) vor.

(4) Der offene Gasturbinenprozeß sollte nur erwähnt werden, ohne physikalische Betrachtungen dazu anzustellen. An die Betrachtung der Anschauungstafel Strahl-

triebwerk oder Bild 103/1 in PhÜb lassen sich gut die in den Vorbemerkungen erwähnten erzieherisch wirksamen Darlegungen des Lehrers anschließen. Auf diese Möglichkeit sollte nicht verzichtet werden.

8. Stunde: Der Kraftwerksprozeß (Wärmekraftwerk)

Stundenziele

Die Schüler

- können die ihnen bekannten Zustandsänderungen des Wassers den Prozessen im Wärmekraftwerk zuordnen und im p-V-Diagramm darstellen;
- können die Hauptsätze der Thermodynamik einschließlich des thermischen Wirkungsgrades auf den Kraftwerksprozeß anwenden;
- kennen einige wesentliche Faktoren, die die Umwelt von Wärme- und Kernkraftwerken belasten sowie Möglichkeiten, den Einfluß dieser Faktoren auf die Umwelt zu reduzieren.

Unterrichtsmittel

Anschauungstafel: Wärmekraftwerk (nicht mehr im SKUS-Katalog)
FO 8: Systematisierung
Physik in Übersichten

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Gasturbinenprozeß (W) **10 min**	Nennen wesentlicher Teile einer Gasturbinenanlage sowie der Zustandsänderungen, Diskutieren von η_{th} (SV, K)
(2) Der Kraftwerksprozeß (Wärmekraftwerk) Zustandsänderungen des Wassers und energetische Betrachtungen (E, S) **20 min**	Erläutern des Blockschaltplanes (Bild 104/1, LB) und Nennen der Zustandsänderungen des Wassers (Schüler); Erkennen der Zustandsänderungen des Wassers im p-V-Diagramm (Bild 104/2, UG), Nennen der Energieumwandlungen in einem mit fossilen Brennstoffen bzw. Kernenergie betriebenen Kraftwerk (SSA, schriftl.), Vergleichen (UG) Vergleich Gasturbinen- und Kraftwerksprozeß; Herstellen von Beziehungen zu den Hauptsätzen (UG, PhÜB)
In Wärmekraftwerken wird als Arbeitsmittel Wasser verwendet. Durch Wärmezufuhr (aus fossilen Brennstoffen oder Kernenergie) wird Dampf erzeugt, der sich in Turbinen adiabatisch entspannt und anschließend durch Kühlung zu Wasser kondensiert (Kreisprozeß). Die Prozeßtemperaturen bestimmen den thermischen Wirkungsgrad.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Umweltprobleme: Abwärme, Staub, Schwefeldioxid (E) 10 min	Kurzer LV zu einigen ausgewählten Problemen der Umweltbelastung durch Kraftwerke und Fahrzeuge mit Verbrennungskraftmaschinen, Schwerpunkte: technische und ökonomische Möglichkeiten und Grenzen
Eine starke Belastung der Umwelt erfolgt durch die SO_2-Emission bei Verwendung fossiler Brennstoffe. Z. Zt. gibt es keine ökonomische Möglichkeit zur Reduzierung. Die Staubbelastung wird durch Elektrofilter und die Abwärmebelastung durch Standortwahl und Nachnutzung der Kühlwasserwärme (Heizung) in befriedigenden Grenzen gehalten. Sichere Lagerung radioaktiver Spaltprodukte ist technisch und ökonomisch aufwendig, aber prinzipiell gelöst. Ungenügend gelöst ist das Problem der Lärmbelastung durch Wärmekraftmaschinen (Flugzeuge, Lokomotiven usw.). Die Einhaltung des sozialistischen Landeskulturgesetzes sichert die Erhaltung der Umwelt.	
(4) Zusammenfassung 5 min	Gegenüberstellung der wesentlichsten Begriffe und der Gedankenführung der phänomenologischen und der kinetisch-statistischen Betrachtung (UG) (FO 8, LB, S. 105/106)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

In dieser Stunde werden die Betrachtungen zu volkswirtschaftlich wichtigen Anwendungen der Thermodynamik fortgesetzt und abgeschlossen. Dabei werden die Erkenntnisse bezüglich der Umwandlung von Primärenergie in technisch nutzbare Energie durch Kreisprozesse vertieft.

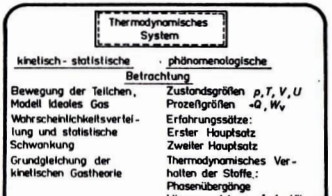
(2) Im Hauptteil dieser Stunde steht die Arbeit mit Lehrbuchtexten im Mittelpunkt. Die Darstellungen im Lehrbuch konzentrieren sich auf physikalische Grundlagen des Kraftwerksprozesses. Unter diesem Aspekt muß zur Erreichung des Stundenziels auch das Unterrichtsgespräch bzw. die selbständige Schülerarbeit durch den Lehrer geführt werden. Der Beitrag zur polytechnischen Bildung der Schüler wird hier durch das Aufzeigen und Erkennen des Wirkens physikalischer Gesetze geleistet und nicht durch Erläuterungen vieler technischer Details.
Beim Erläutern des Blockschaltplanes und des p-V-Diagramms (Bilder 104/1 und 104/2) werden Vergleiche zum Gasturbinenprozeß angestellt und damit Kenntnisse und Erkenntnisse neben der Erstvermittlung gefestigt. Hierbei sollten kurze Schülervorträge, die durch entsprechende, möglichst knappe Hinweise des Lehrers gelenkt und ergänzt werden, überwiegen. Zur Vorbereitung auf die abschließende Klassenarbeit dient die selbständige schriftliche Formulierung der Energieumwandlungen durch die Schüler. Dabei ist auf die Trennung von Zuständen und Prozessen zu achten. Die Herstellung der Beziehungen zu den Hauptsätzen erfolgt wieder im Unterrichtsgespräch. Dabei illustriert z. B. die Tabelle S. 105 in Physik in Übersichten zum Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen gut die technische Entwicklung.

(3) Dieser Teil der Stunde erfordert vom Lehrer eine besonders gründliche Vorbereitung. Die Ausführungen im Lehrbuch sind dazu sehr knapp gehalten worden, da die Entwicklung auf dem Gebiet des Umweltschutzes sehr rasch verläuft. Regelmäßige Informationen anhand von Veröffentlichungen der Presse (bes. populärwissenschaftlicher Monatsschriften wie „Wissenschaft und Fortschritt“ und „Urania“) sind im Interesse der Aktualisierung unbedingt erforderlich. Die effektivste Form stellt deshalb der Lehrervortrag dar. Dabei sollte aber innerhalb der ange-

gebenen Zeit den Schülern auch Gelegenheit zu Fragen gegeben werden. Unbedingt muß im Lehrervortrag auf das Erbe, das uns die kapitalistische Wirtschaft hinterlassen hat, sowie auf die Bemühungen unseres sozialistischen Staates (Landeskulturgesetz; Notwendigkeit des zuverlässigen Schutzes der Staatsgrenze und des Luftraumes) eingegangen werden. Erfahrungsgemäß denken die Schüler bei Umweltproblemen zuerst an Müll und Verschmutzung der Flüsse. Deshalb ist es notwendig, sie besonders auf die Belastung der Umwelt (Mensch, Tiere, Pflanzen) durch Schwefeldioxid, Staub, Kohlenmonoxid, Abwärme, radioaktive Zerfallsprodukte und Lärm sowie die technischen und ökonomischen Grenzen der Reduzierung der Umweltbelastung hinzuweisen. Dabei ist die Beschränkung auf wenige anschauliche Beispiele zu empfehlen, um nicht durch viele Einzelheiten vom Wesentlichen abzulenken.

(4) Als Abschluß faßt der Lehrer mit den Schülern anhand einer Folie die Gedankenführung des Abschnittes Thermodynamik zusammen. Mit dieser systematisierenden Übersicht werden den Schülern Zusammenhänge nochmals bewußt gemacht. Hinweise zur Gestaltung der Klassenarbeit sollten, sofern nicht schon nach der Behandlung der Zustandsänderungen gegeben, hier erfolgen, um den Schülern die Vorbereitung zu erleichtern.

Folie
Bild 130/1



9. Stunde: Klassenarbeit

Stoffgebiet Optik 30 Stunden

Stoffeinheit Strahlenoptik 9 Stunden

Vorbemerkungen

Bei der Planung und Gestaltung des Unterrichts ist an die Vorkenntnisse der Schüler zur Optik aus dem Physikunterricht der Klasse 6 und vor allem aus der Klasse 10 anzuknüpfen; es sind die Vorleistungen aus dem Astronomieunterricht, aus dem Biologieunterricht usw. zu berücksichtigen.
Im Mittelpunkt des Unterrichts stehen die Vertiefung, die Erweiterung und die Ergänzung des Wissens und Könnens der Schüler über die Reflexions- und Brechungserscheinungen, die Abbildungen durch Linsen und die Bildentstehung an optischen Geräten auf der Grundlage des Modells „Lichtstrahl", wobei der in der Klasse 6 eingeführte Begriff zu präzisieren ist. Von dem weiterführenden Modell Lichtwelle, wie es in Klasse 10 bereits behandelt worden ist, wird zunächst abgesehen. Bei der späteren Behandlung der Wellenerscheinung des Lichtes werden die Lichtstrahlen als die Normalen auf den Wellenflächen des Lichtes gedeutet. In der Stoffeinheit Strahlenoptik werden damit die Grundlagen zu einigen wichtigen Fragen der philosophisch-weltanschaulichen Interpretation der Optik (Wesen des Lichts und damit Erkennbarkeit der physikalischen Welt) gelegt, die in der Wellenoptik und in der Quantenoptik weiter ausgebaut werden.
Ein Schwerpunkt bei der Behandlung der Strahlenoptik muß sein, das Wesen der Abbildung deutlich herauszuarbeiten. Es muß gezeigt werden, daß jedem Gegenstandspunkt genau ein Bildpunkt entspricht, und daß die optische Abbildung damit zu einem Zuordnungsproblem wird. Den Schülern ist an passender Stelle, am zweckmäßigsten bei der Behandlung bekannter Photoobjekte, mitzuteilen, daß bei den lichtoptischen Abbildungen stets Abbildungsfehler auftreten und physikalisch nicht zu vermeiden sind.
Typisch für die Behandlung der Strahlenoptik ist, daß von einigen wenigen Grundgesetzen ausgehend durch Kombination dieser Grundgesetze neue Kenntnisse und Erkenntnisse genetisch gewonnen werden. Der gründlichen Erarbeitung dieser Gesetzmäßigkeiten (Reflexion, Brechung) und ihrer experimentellen Untersuchung ist breiter Raum zu gewähren. Ausgehend von diesen Erkenntnissen ist die optische Abbildung zum Ausgangspunkt aller weiteren Betrachtungen zu machen. So wird in der Strahlenoptik bei der Behandlung der optischen Geräte auf die Wirkungsweise der einzelnen optischen Elemente und auf die Wirkungsweise der optischen Systeme zurückgegriffen und ergänzend und erweiternd ihr Zusammenwirken in komplexen optischen Geräten untersucht. — Über die bloße Verknüpfung einzelner Fakten hinaus sollte man auch versuchen, die einzelnen Aufträge in Form von Aufgaben und Problemen, Experimenten und Beispielen so auszuwählen und aneinanderzureihen, daß diese in sich verkettet werden und somit nach Art einer verkürzten Leitlinie die gesamte Stoffeinheit durchziehen (Aufgabenfolge). In der

Strahlenoptik (und dann weiterführend in der Wellenoptik) bietet sich beispielsweise das Problem der gleichzeitigen Reflexion und Brechung des Lichtes an einer Grenzfläche als ein solches durchgängiges Arbeits- und Orientierungsprinzip an. Das wiederholte Bezugnehmen auf dieselben Grundtatsachen stellt eine immanente Wiederholung des Lehrstoffs unter verschiedenen Aspekten dar und dient der fortwährenden Festigung des Stoffes und der physikalischen Denk- und Arbeitsweisen. Im Lehrbuch wird mehrfach auf diese Problematik verwiesen oder Bezug genommen.

Beim Durchdenken und Durcharbeiten der Stoffeinheit ist möglichst oft auf die Fähigkeiten (geistigen Operationen) des Analysierens und Synthetisierens, Vergleichens, Klassifizierens und Systematisierens zurückzugreifen, indem die Fähigkeiten vom Lehrer bewußt entwickelt und ihre wesentlichen Seiten den Schülern auch bewußt gemacht werden (Methodenbewußtheit). Die Fähigkeiten der Schüler lassen sich gezielt weiterentwickeln, ihr Können läßt sich vervollkommnen und auf ein höheres Niveau heben, wenn die optischen Geräte wie Kamera und Bildwerfer, Mikroskop und Fernrohr verbal genau beschrieben, schrittweise aufgebaut (Methode der verbundenen Analyse und Synthese) und bewußt vergleichend nebeneinandergestellt und in Bezug auf ihre Gemeinsamkeiten und Unterschiede untersucht werden. Das Unter- und Überordnen der Teilgebiete der Optik, das Ein- und Nebenordnen der optischen Geräte in Begriffs- und Aussagensysteme trägt zur Vervollkommnung im Klassifizieren physikalischer Sachverhalte bei. Neben den genannten Fähigkeiten (Operationen) kommen dem Üben im Zeichnen von Strahlengängen und der Vervollkommnung im Experimentieren eine große Bedeutung zu. Das Beobachten, Beschreiben und Erklären physikalischer Sachverhalte (z. B. Bildentstehung, Totalreflexion) sind begrifflich genau voneinander abzugrenzen.

Bei der Behandlung der optischen Geräte bezüglich ihrer konkreten Verwendungszwecke ist entsprechend der im Lehrplan vorgegebenen Zeit auf die Vielfalt und Mannigfaltigkeit ihrer Konstruktionen (Erscheinung und Wesen) und ihrer Einsatzmöglichkeiten aufmerksam zu machen. Dabei muß den Schülern immer wieder klar gemacht werden, daß optische Geräte in der Forschung, in der Produktion und bei der Landesverteidigung von großer Bedeutung sind, indem sie die optischen Wahrnehmungen wesentlich verbessern und damit die Effektivität gestellter Aufgaben oder Aufträge erhöhen.

Die Schüler müssen die fundamentalen Denk- und Arbeitsgewohnheiten der Physik annehmen (z. B. experimentelle Methode, Hypothesen-, Prognose- und Theorienbildung), sie müssen die Modellvorstellungen (z. B. Lichtstrahl) richtig einschätzen, sie müssen den Zusammenhang von wissenschaftlichem Fortschritt und technischer Anwendung (z. B. Lichtfasern) erkennen und entsprechende Einstellungen entwickeln.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Einführung in die Strahlenoptik** ihre Stellung im System der Optik.	Rückgriff auf Optik (Ph 6 und 10) Abgrenzung von mathematischen Grundbegriffen wie Bündel, Reflexionswinkel	Einleitungstext zum Stoffgebiet Optik (LB, S. 107) DE: Reflexion und Brechung qualitativ

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
2. Reflexions- und Brechungsgesetz – räumliche Lage der Strahlen zueinander – Winkelverhältnis	Reflexionsgesetz für Hertzsche Wellen (Ph 10) Spiegel im Marschkompaß (Geo 9)	DE: Reflexionsgesetz $\alpha = \alpha'$ DE: Brechung des Lichtes $\beta = f(\alpha)$
3. Totalreflexion – Grenzwinkel – experimentelle Prüfung		DE: PSV 7, V 2.4.3 LB, S. 112, Bild 112/11 SE: 04 und 03 Lichtleitgeräte
4. Lichtbrechung und Bildpunktentstehung – stoffgebundene Bildpunktübertragung – Lichtausbreitung in Luft und Vakuum – Strahlengang durch Sammellinse	Abbildungen durch Linsen (Ph 6)	DE: PSV 7, V 2.4.4 LB: Bilder 168/1 und 168/2 DE: PSV 7, V 3.1.1 LB: Bilder 115/2 und 115/3
5. Abbildung und Abbildungsgleichung – Wesen der Abbildung – Abbildungsgleichung	Mehrdeutige, eindeutige und eineindeutige Abbildungen (Ma 8, 9) Bau und Funktion des Auges (Bio 8) Technisches Zeichnen von technischen Gegenständen in vergrößerter und verkleinerter Darstellung (ESP 7)	PSV 7, V 3.1.5
6. Schülerexperiment zur Abbildungsgleichung vorher Behandlung von Bildlagen		SE 05: Bestimmung der Bildweite s' und der Bildgröße y'
7. Einfache optische Geräte – Lupe – Kamera – Bildwerfer jeweils mit • Aufbau • Strahlengang • Anwendung	Optische Geräte Ph 6	DE: Kamera und Bildwerfer aus Aufbauteilen Originalkamera und/oder Bildmaterial dazu Bildwerfer und/oder Bildmaterial dazu
8. Fernrohr und Mikroskop – Fernrohr • Aufbau • Strahlengang • Anwendung – Mikroskop • Aufbau • Strahlengang • Anwendung	Mikroskopübungen (Bio 7) Messen und Prüfen (UTP 7/8)	DE: Mikroskop (und Fernrohr) aus Aufbauteilen zusammensetzen Original-Fernrohr (Z. B. Telementor) und/oder Bildmaterial dazu. Original-Mikroskop (z. B. Schülermikroskop) und/oder Bildmaterial dazu

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente; Beziehungen zum Lehrbuch
9. Wiederholungsstunde – Reflexion und Brechung – Abbildung durch Sammellinse Fernrohr Mikroskop		DE: Klappfoliensatz

1. Stunde: Einführung in die Strahlenoptik

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen die wesentlichen Merkmale der Strahlenoptik und ordnen die Strahlenoptik in das Begriffssystem „Optik" ein. Sie erkennen, daß beim Lichtdurchgang durch eine optische Grenzfläche Reflexion und Brechung immer gemeinsam auftreten;
- üben sich im Bildbeschreiben;
- lernen Strahlenverläufe an planparallelen Platten selbständig zu entwickeln und unter entsprechender Vereinfachung vorausgesagte oder dargebotene Erscheinungen zu erklären.

Unterrichtsmittel

1 Klassensatz möglichst dicker planparalleler Glasplatten
1 Klassensatz möglichst dicker Glasspiegel
1 Klassensatz Kerzen und Streichhölzer oder blanke Gegenstände für Freihandexperimente
Klappfolien als Ersatz der Tafelskizzen

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten der Lehrer und der Schüler
(1) Begriff „Strahlenoptik" charakteristische Merkmale der Strahlenoptik (2) Strahlenoptik im System der physikalischen Optik (E) **20 min**	Interpretieren des Einleitungstextes (LB, S. 107, SSA) Zusammentragen der wesentlichen Merkmale (UG) (LB, S. 108, SSA) (UG, TB 136/1)
In der Strahlenoptik als einem Teilgebiet der klassischen physikalischen Optik werden alle Lichterscheinungen ausschließlich mit Hilfe des Modells „Lichtstrahl" beschrieben.	

Stundengliederung	Tätigkeiten der Lehrer und der Schüler
(3) Spiegelbilder am ebenen Glasspiegel und an der planparallelen Glasplatte (4) Mehrfachreflexionen **20 min** (5) Vertiefende und erweiternde HA: Wdh des dargebotenen Lehrstoffs **5 min**	Schüler sagen das Ergebnis voraus (UG) Freihandversuch evtl. in Form getrennt-gemeinschaftlicher Schülerübungen (SSA) Schüler suchen nach den Ursachen zur Entstehung von Mehrfachreflexionen (Erklärungsproblem, TB 136/2) Vgl. der Ausbreitung von Lichtstrahlen mit der Ausbreitung von Hertzschen Wellen, Wärmestrahlen betreffs der charakteristischen Eigenschaften nach (1).
Beim Lichtdurchgang durch optische Grenzflächen (oder Platten) treten immer Reflexionen und Brechungen gemeinsam auf. Bei Mehrfachreflexion an Platten erscheinen mehrere Bilder nebeneinander. Die Anzahl der erkennbaren Bilder hängt von den jeweiligen Versuchsbedingungen, wie Stärke und Richtung des Lichteinfalls ab.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Bei der Textinterpretation LB S. 107 können mit Hilfe des Lehrers folgende Problemkreise erörtert werden:

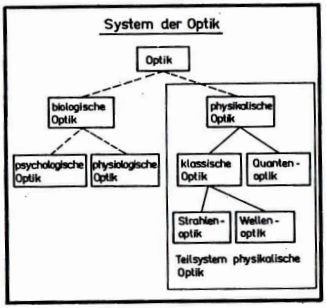
- Erzeugung, Ausbreitung und Nachweis des Lichtes gehören eng zusammen. Zur Erzeugung des Lichtes gehört eine Lichtquelle und zum Nachweis des Lichtes gehört ein Empfänger. Zur Ausbreitung des Lichtes sind keine besonderen Fortleitungsmittel (z. B. Vakuum) notwendig.
- Licht dient der Aufhellung von Flächen oder Räumen, der Abbildung von Gegenständen und der Nachrichtenübertragung (Lichtmorsen; Lichtmodulation.) Man verweise auf die Informationsübertragung durch Hertzsche Wellen (Bild 138/1, LB Ph Kl. 10).
- Das Licht kann objektiv durch Meß- oder Nachweisgeräte und subjektiv durch das Auge nachgewiesen werden.

(2) Der subjektive Vorgang des Sehens gehört dabei in den Bereich der biologischen Optik: der objektive Vorgang der Lichtentstehung, -ausbreitung und -aufnahme gehört in den Bereich der physikalischen Optik. Durch die Anfertigung von TB 136/1 oder einer Folie zur Klassifikation der Teilgebiete der Optik können die entsprechenden Überordnungen, Unterordnungen und Nebenordnungen verdeutlicht werden. Im Physikunterricht interessiert vordergründig der rechte Zweig in TB 136/1.

(4) und (5) Die Begriffspräzisierung Lichtbündel — Lichtstrahl dient der Überleitung vom 1. Teil der Stunde zum 2. Teil der Stunde, wobei das Problem der mehrfachen Spiegelbildentstehung der Motivation und als methodisch-didaktischer Einstieg in die Strahlenoptik dient. Es handelt sich hierbei um eine vertiefende und erweiternde Wiederholung der Reflexion und um eine vorbereitende Behandlung des Brechungsgesetzes. Das Zustandekommen der Spiegelbilder wird zunächst vereinfachend auf einen einzigen Strahlenverlauf reduziert. Bei der Anfertigung von TB 136/2 ist darauf zu achten, daß einander entsprechende Lichtstrahlen parallel zueinander verlaufen (z. B. Parallelverschiebung an planparallelen Platten). Bei Zeitverzug werden die Strahlenverläufe nur an der Spiegelglasplatte behandelt und der adäquate Fall an der Glasplatte von den Schülern zu Hause untersucht. Die beiden Varianten können auch getrennt-gemeinschaftlich behandelt werden.

Tafelbild

Bild 136/1



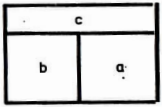
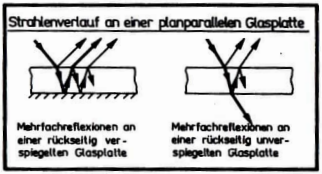
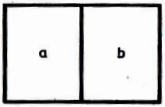


Bild 136/2





2. Stunde: Reflexions- und Brechungsgesetz

Stundenziele

Die Schüler

- formulieren und interpretieren das Reflexions- und Brechungsgesetz;
- üben sich in der Durchführung und in der Beobachtung von Demonstrationsexperimenten.

Unterrichtsmittel

PSV 7, V 2.2.2. und V 2.4.2., V 2.4.3.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeit des Lehrers und der Schüler
(1) Überprüfung der HA mit LK **5 min**	Ein Schüler trägt vor (SV)

Stundengliederung	Tätigkeit des Lehrers und der Schüler
(2) Experimentelle Behandlung und Formulierung des Reflexionsgesetzes (W) **10 min**	DE: Beziehungen zwischen Einfalls- und Reflexionswinkel. Ergebnisse werden tabellarisch zusammengefaßt (TB), verbal und gleichungsmäßig formuliert, grafisch dargestellt (TB)
1. Einfallender Lichtstrahl, Lot und reflektierter Lichtstrahl liegen in einer Ebene. 2. Einfallswinkel und Reflexionswinkel sind gleich groß.	
(3) Experimenteller Nachweis der Brechung, mathematische Umformung und Formulierung des Brechungsgesetzes Brechzahl n (E) **20 min**	Beziehungen (Meßergebnisse) zwischen Einfalls- und Brechungswinkel (DE) werden tabellarisch zusammengefaßt. Graphische Darstellung der Beziehung $\beta = f(\alpha)$ (SSA, TB) Erarbeiten der physikalischen Größe Brechzahl (LB, S. 110/111, SSA)
1. Einfallender Lichtstrahl, Lot und gebrochener Lichtstrahl liegen in einer Ebene. 2. Für Einfallswinkel und Reflexionswinkel gilt: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_b}{n_a}$.	
(4) Festigung durch Rechenbeispiele – Stillbeschäftigung – Hausaufgaben **10 min**	Arbeit an der Tafel und/oder im Heft (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Die Lichtreflexion wird in üblicher Weise an einer optischen Scheibe demonstriert, die dabei gewonnenen Ergebnisse (Wertepaare) werden verallgemeinernd zum Reflexionsgesetz zusammengefaßt. Hierbei muß betont werden, daß reguläre Reflexionen immer an glatten Flächen auftreten. Der Betrag des Reflexionswinkels ist dabei vom Einfallswinkel und nicht vom Stoff des reflektierenden Körpers abhängig.

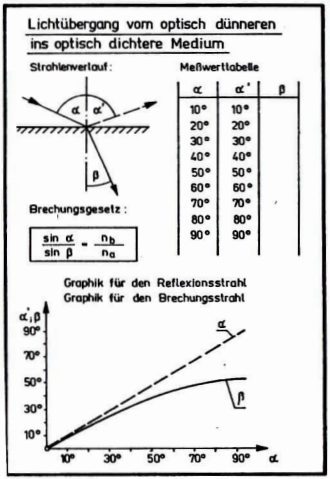
(3) In Analogie zum Reflexionsgesetz sollte dann im zweiten Teil der Stunde sinnentsprechend auch das Brechungsgesetz behandelt werden, wobei auf die schrittweise Gesetzesfindung, auf die genaue Gesetzesformulierung und auf die richtige Interpretation des Gesetzes großer Wert zu legen ist. Es ist zu zeigen oder zumindest mitzuteilen, daß bei Brechung des Lichtes der Brechungswinkel außer vom Betrag des Einfallswinkels auch von den verwendeten Stoffen, zwischen denen der Lichtübergang stattfindet, abhängt. Auf eine Herleitung des Reflexions- und Brechungsgesetzes mit Hilfe der Huygensschen Konstruktionen wird verzichtet.
Schwierigkeiten wird den Schülern eine verbale Beschreibung des Graphenverlaufs für $\beta = f(\alpha)$ bereiten. Es empfiehlt sich zur klaren sprachlichen Verständigung — wie in der Mathematik weit verbreitet — die Termini progressiv steigend, linear steigend und degressiv steigend für die entsprechenden Kurvenverläufe zu verwenden. $\beta = f(\alpha)$ liefert einen degressiv steigenden Graphen.
Die Erarbeitung des Begriffes Brechzahl n sollte mit dem Lehrbuchtext unter Anleitung des Lehrers erfolgen.

(4) Bei der Behandlung von Rechenbeispielen kann auch der Sonderfall $n_a = n_b$ diskutiert und eine Möglichkeit zur experimentellen Überprüfung der aufgestellten Annahmen ersonnen werden.

Hausaufgabe: Füllen Sie in ein dickwandiges Glasgefäß mit geschliffenem Rand (Bild 138/2) eine kleine Menge einer beliebigen roten Flüssigkeit (z. B. Sirup) und betrachten Sie den Rand des Gefäßes!

Tafelbild

Bild 138/1



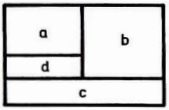
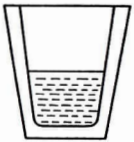


Bild 138/2



3. Stunde: Totalreflexion des Lichtes

Stundenziele

Die Schüler

- kennen den Begriff Totalreflexion und die physikalische Größe Grenzwinkel;
- werden sich bewußt, daß durch das Aufdecken von Grenzbedingungen (oftmals) Ansätze für neue Erkenntnisse gefunden werden;
- wissen, wie Brechungs- und Reflexionsgesetz experimentell ermittelt werden können.

Unterrichtsmittel

- PSV 7, V 2.4.4.
- Geräte zu den verbindlichen Schülerexperimenten O 3 u. O 4

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Auswertung der HA Variation der Einfallswinkel beim Lichtübergang vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium (E) 15 min	Gemeinsames Diskutieren der HA und Aufstellen einer Hypothese (UG) Demonstration (PSV 7, V 2.4.3.) und anschließende Diskussion der Beziehungen $\beta' = f(\beta)$ und $\alpha = f(\beta)$ bei unterschiedlichem Winkel β (DE, UG)
Beim Übergang des Lichtes von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium tritt von einem bestimmten Einfallswinkel an Totalreflexion auf.	
(2) Grenzwinkel (E) 5 min	Erörtern des Sachverhaltes mit dem Lehrbuch (LB, S. 112, Bild 112/1)
Der Grenzwinkel ist ein stoffabhängiger Einfallswinkel, bei dem der gebrochene Lichtstrahl in der Grenzfläche verläuft.	
(3) Experimentelle Bestätigung der Totalreflexion eines Grenzwinkels und Bestätigung des Reflexionsgesetzes Bestimmen einer Brechzahl (S) 25 min	Durchführung der Experimente O 4 und danach O 3 (SSA) Erteilen der HA

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Das Hausexperiment (HA) wird von den Schülern erläutert: der Glasrand erscheint rot. Die Schüler stellen eine Hypothese auf.

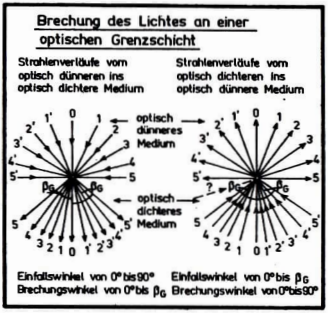
Mit Hilfe des Demonstrationsexperimentes (PSV 7, V 2.4.3.) und der Darstellungen im Lehrbuch wird die Totalreflexion als ein Sonderfall der Reflexion erläutert.

(2) Bei der Interpretation der Totalreflexion wird anhand des vorbereiteten Tafelbildes der Begriff Grenzwinkel eingeführt. Hierbei sollte ausdrücklich betont werden, daß der Betrag des Grenzwinkels allein von der Brechzahl des verwendeten Stoffes abhängt. Durch Spezifizierung des Brechungsgesetzes $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_b}{n_a}$ mit $\sin\beta = 90° = 1$ und $n_{Luft} = 1$ erhält man sofort $\sin\alpha_G = \frac{1}{n_a}$ als Bestätigung des Gesagten.

(3) Die experimentelle Bestimmung des Grenzwinkels ergibt sich aus (2). Das Experiment (O4) wird sofort weitergeführt und zur experimentellen Untermauerung des Brechungsgesetzes (O3) genutzt. Die Auswertung der beiden Schülerexperimente und das Durcharbeiten des Lehrbuchtextes Lichtleitstab (LB, S. 112/113) wird als Hausaufgabe gestellt.

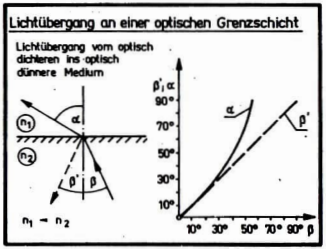
Tafelbild

Bild 140/1



a	b

Bild 140/2



a	b

4. Stunde: Lichtbrechung und Bildpunktentstehung

Stundenziele

Die Schüler

- festigen ihr Wissen über Gesetzmäßigkeiten der Lichtbrechung;
- können den Zusammenhang zwischen Lichtbrechung, Reflexion und Totalreflexion erläutern;
- kennen die Bedingungen der Bildentstehung.

Unterrichtsmittel

PSV 7, V 2.4.4. PSV 7, V 3.1.1.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Zusammenfassung aller Gesetze und Erkenntnisse zur Reflexion, Brechung und Totalreflexion Lichtleitung durch Totalreflexion (W) **15 min**	HA (K) Erläutern der Graphen (LB, S. 168, Bild 168/1) Demonstration der Lichtleitung in einem gekrümmten Wasserstrahl (DE) Erläutern der stoffgebundenen Bildpunktübertragung durch Lichtleitkabel (LV)
(2) Selbstleuchtender Dingpunkt (Körper) Beleuchteter Dingpunkt (Körper) als Lichtreflektor Allgemeine Bedingungen einer Bildpunktentstehung (E) **10 min**	Phänomenologische Unterscheidung der Lichtquellen Vergleichen der Lichtausbreitung im Vakuum (Luft) mit der in Lichtleitkabeln (UG). Hinweis: 1. Stunde — Wesen der Strahlenoptik Zusammentragen notwendiger Bedingungen für Bildpunktentstehung (UG, LB, S. 114, TB 142/1a)
(3) Gegenstandspunkt und Bildpunkt Strahlenablenkung durch Linse Bildpunktentstehung (E) **10 min**	Konstruieren des Strahlenganges durch eine Linse (LV) Einführen der 3 Hauptstrahlen, Bild und Bildpunkt (DE, UG, TB 142/1b)
Bei der optischen Abbildung durch eine Sammellinse entsteht zu jedem Gegenstand genau ein Bildpunkt.	
(4) Bildpunkt bei Gegenstandspunkten auf bzw. außerhalb der optischen Achse (Ü) **10 min**	Zeichnen und Bestimmen der Bildpunkte unter Verwendung der Bilder 115/2 und 115/3 (LB, S. 115, SSA zugleich HA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Die beiden SE werden ausgewertet und die aus den Meßwerten erhältlichen Graphen zum Zwecke der Wiederholung diskutiert. Lichtleiteinrichtungen werden kurz in ihrer physikalischen Funktion erläutert und Beispiele der Anwendung gezeigt.

(2) Als Einstieg in die Problematik kann eine der folgenden Fragen dienen:

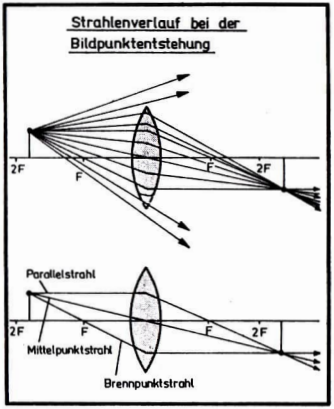
- „Wie kommt es, daß man unter günstigen Umständen die Bewegung von Erdsatelliten am nächtlichen Himmel direkt beobachten kann?" (Reflexion des Sonnenlichtes).
- „Unter welchen Bedingungen ist das Licht eines selbstleuchtenden Körpers für das Auge erkennbar?"
  (direkter Lichteinfall in das Auge).
- „Kann man im Dunkeln Lichtbündel von Scheinwerfern aus seitlicher Position sehen?" (Lichtstreuung durch Staubteilchen mit direktem Lichteinfall in das Auge).
- „Sind die Formulierungen „ansehen", „hinschauen", „einen Blick werfen auf" physikalisch zutreffend?" (Lichtbündel verlaufen zum Auge hin und nicht vom Auge weg).

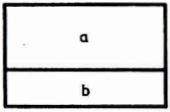
Die Bildpunktentstehung ist als eine eineindeutige Zuordnung Dingpunkt-Bildpunkt auszuweisen. Die Bedingungen zur Entstehung von Bildpunkten werden mit Hilfe des Lehrbuches erarbeitet und demonstriert nach PSV 7, V 3.1.1.

(4) Es ist darauf aufmerksam zu machen, daß bei einer fehlerfreien Abbildung eine zur optischen Achse orthogonale Dingpunktebene auch als orthogonale Bildpunktebene abgebildet wird.

Tafelbild

Bild 142/1





5. Stunde: Abbildungsgleichung

Stundenziele

Die Schüler

- kennen das Wesen eines reellen und eines virtuellen Bildes. Sie können Lage (und Größe) eines reellen und eines virtuellen Bildes konstruieren;
- können mit Hilfe der Abbildungsgleichung fehlende optische Größen wie Bildlage, Gegenstandslage oder Brennweite der Linse und später auch Bildgröße und Gegenstandsgröße errechnen;
- üben sich im genauen Beschreiben von Spiegel- und Linsenbildern und vervollkommnen ihre Rechenfertigkeiten.

Unterrichtsmittel

PSV 7, V 3.1.5

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Wiederholung zur Bildpunktentstehung **5 min**	HA (K)
(2) Strahlenablenkung durch eine Linse bei virtueller Bildentstehung (E) **10 min**	DE nach PSV 7, V 3.1.5. Schüler suchen das subjektiv wahrnehmbare Bild mit Hilfe eines Schirmes (vergeblich) aufzufangen. Die neue Bildqualität wird betont. Lehrer gibt Bild(punkt)-Konstruktion an.
Virtuelle Bilder sind mit dem Auge zwar wahrnehmbar, können aber mit dem Schirm nicht aufgefangen werden.	
(3) Ableitung der Abbildungsgleichung (E) Mathematische Herleitung des Abbildungsmaßstabes (E) **20 min**	Erarbeitung der Abbildungsgleichung (UG) unter besonderer Berücksichtigung der mathematischen Ähnlichkeitssätze
(4) HA: Beschreibung von Planspiegelbildern Vorbereitung des Protokolls zum SE O6 **10 min**	Lehrer gibt Hinweise zum häuslichen Freihandversuch

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Das virtuelle Bild ist als scheinbares, nicht wirklich existierendes Bild abzuhandeln. Die von einem virtuellen Bildpunkt oder Bild ausgehenden divergenten

Lichtstrahlen können durch eine Sammellinse (z. B. durch eine Augenlinse oder durch ein Objektiv einer Kamera) so konvergent gemacht werden, daß auf der Netzhaut oder auf einem Film ein reelles Bild entsteht. Reelle und virtuelle Bilder sind bezüglich ihrer Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu vergleichen.

(3) Bei der Aufstellung der Abbildungsgleichung sind die notwendigen Randbedingungen „dünne Linsen" und „achsennahe Strahlen" unbedingt zu nennen.

(4) Bei der Aufgabenstellung wird man reaktivierend auf Stunde 1 verweisen, in der auch Spiegelbilder beschrieben worden sind.

6. Stunde: Schülerexperiment zur Abbildungsgleichung

Stundenziele

Die Schüler vervollkommnen sich im Experimentieren, bilden ihre Rechenfertigkeiten weiter aus und stellen Fehlerbetrachtungen an.

Unterrichtsmittel

— PSV, Teil 7, V 3.1.7

Stundenverlauf

1. Kontrolle und Auswertung der HA.
2. Demonstrationsexperiment zur Bildentstehung durch Linsen
3. Die Schüler führen den Versuch (Schülerexperiment 05) oder aus PSV 7, V 3.1.7., V 3.1.8 oder V 3.1.11. durch und rechnen vom Lehrer ausgewählte Beispiele aus der Aufgabensammlung des Lehrbuches.

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Die Bilderzeugung durch eine Sammellinse wird zunächst qualitativ demonstriert, wobei Fallunterscheidungen vorgenommen und die Bilder bzw. Bildlagen beschrieben werden. Hieran schließt sich im verwebenden Unterrichtsverfahren das Schülerexperiment mit der quantitativen Behandlung der Linsenabbildung (Abbildungsgleichung) an. Bei der Behandlung der Schülerübung wird grundsätzlich nach den Angaben in der Versuchsanleitung verfahren.
Wird der Auftrag aber so abgeändert, daß die Brennweite f der Abbildungslinse ermittelt werden soll, dann kann auch eine grafische Darstellung nach Bild 145/2 verlangt werden. Ein entsprechendes Arbeitsblatt ermöglicht dem Lehrer eine schnelle Kontrolle der Versuchsergebnisse aller Schüler.
Bei der Verwendung der grafischen Darstellung nach Bild 145/2 bietet sich an, in einer Zusatzaufgabe (HA) für besonders interessierte Schüler die angegebene Darstellung auf dem Arbeitsblatt in ein Nomogramm (Bild 145/3) für die lichtoptische Abbildung $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ umzuwandeln.

Bild 145/1

Abbildung bei unterschiedlicher Gegenstandsweite s

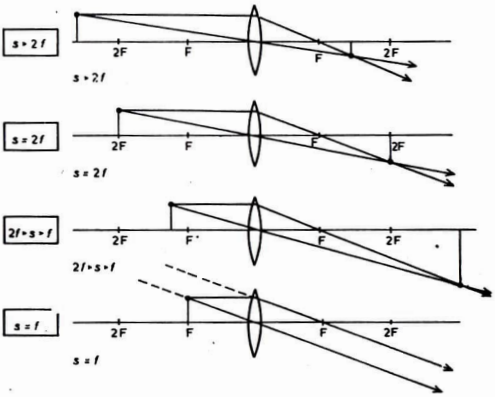
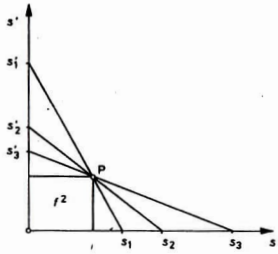


Bild 145/2

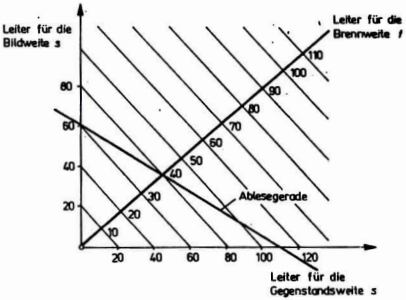
Grafische Ermittlung der Brennweite



P ist Schnittpunkt der Verbindungsgeraden $s_n - s_n'$

Bild 145/3

Nomogramm für die Abbildungsgleichung



7. Stunde: Einfache optische Geräte

Stundenziele

Die Schüler

- lernen im Grundsätzlichen den Aufbau und die Wirkungsweise von Lupe, Kamera und Bildwerfer kennen;
- können den Strahlengang an den einfachen optischen Geräten in groben Zügen angeben und üben sich im analysierenden und im vergleichenden Beschreiben der Geräte.

Unterrichtsmittel

- Lupen (und/oder Bilder von Lupen)
- Kamera (und/oder Bilder von Kameras)
- Bildwerfer (und/oder Bilder von Bildwerfern)
- Tageslichtprojektor
- FO

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeit des Lehrers und der Schüler
(1) Systematisierung optischer Geräte (E) (2) Aufbau und Verwendungszweck der Lupe (E) (A) – Verweis auf Einglaslupen und Mehrglaslupen **15 min**	Folie wird projiziert (Bild 148/1) Eine einfache Sammellinse wird als Lupe benutzt. TB 148/2a, b Strahlengang mit Fallunterscheidung Lehrer gibt Hinweise betreffs Namen, Verwendungszweck und Aufbau technischer Lupen
1. Zusammenhängende Teilzusammenfassung des Gelernten durch einen Schüler (SV)	
(3) Behandlung der Kamera (E) – Aufbau der Kamera – Scharfeinstellung der Kamera – Strahlengang in der Kamera – Hinweis auf einige technische Details **15 min**	Vorstellung einer originalen Kamera oder eines Bildes (Rolltafel, Foto) im LV, Schüler beschreiben. evtl. SV. TB 148/2c Schüler tragen Details zusammen. Hinweis auf die internationale Bedeutung der Kameraproduktion in der DDR
2. Zusammenhängende Teilzusammenfassung des Gelernten durch einen Schüler (SV)	
(4) Behandlung des Bildwerfers (Diaskop) (E)	LD: Diaskop. Lehrer nimmt – wenn möglich – das Gehäuse vom Gerät ab und läßt einen Schüler den optischen

Stundengliederung	Tätigkeit des Lehrers und der Schüler
– Aufbau des Diaskops – Strahlengang am Diaskop – Scharfeinstellung des Diaskops – Hinweis auf Epi- oder Epidiaskop oder Behandlung eines Tageslichtschreibers **15 min**	Aufbau beschreiben. (TB 148/3) Funktionsweise eines Bildwerfers. Vgl. zur Kamera als „Umkehrgerät" (UG)
3. Zusammenhängende Teilzusammenfassung des Gelernten durch einen Schüler (SV)	

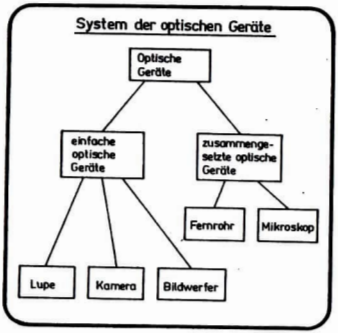
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Bei der Behandlung der Lupe ist den Schülern deutlich zu machen, daß schon eine einfache Sammellinse (Leseglas) als Lupe verwendet werden kann. Als Kernfragen sind hierbei herauszuschälen: 1. Unter welchen Bedingungen wirkt eine Sammellinse als Lupe? Welcher Art ist das gewonnene Bild? An dieser Stelle ist vom Lehrer zu entscheiden, ob er den parallelen Lichteinfall bei nichtakkommodiertem Auge oder den divergenten Lichteinfall bei akkommodiertem Auge behandeln will. Um eine stärkere Vergrößerung als bei Verwendung einer einfachen Einglaslupe zu erzielen, werden in der Praxis vielfach zusammengesetzte Lupen verwendet.
Kamera und Bildwerfer werden in einem Simultan- oder in einem Sukzessivvergleich einander gegenübergestellt:

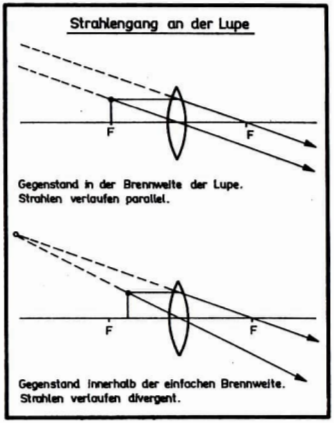
1. Die Kamera erzeugt ein reelles Bild und bildet normalerweise große Gegenstände verkleinert ab.
2. Der Bildwerfer erzeugt ein reelles Bild und bildet normalerweise kleine Vorlagen vergrößert ab.

Die Strahlengänge in Kamera und Bildwerfer entsprechen einander, wenn Vorlage und projiziertes Bild miteinander vertauscht werden (Satz von der Umkehrbarkeit der Lichtwege).
Die optische Abbildung durch eine einfache Linse (Grundversuch) wird in der Kamera in technisch vollkommener Weise angewendet. Analog zur Kamera wird auch im Bildwerfer die optische Projektion im Vergleich zum entsprechenden Grundversuch in technisch vollkommener Weise angewendet. Die Schüler müssen erkennen, daß die technischen Geräte jeweils im Vergleich zum entsprechenden Grundversuch physikalisch nichts grundsätzlich Neues bringen, ihre Vorzüge liegen lediglich in der Verbesserung der Bildqualität.
Zur Scharfeinstellung des Fotoapparates und des Bildwerfers muß bei veränderter Gegenstandsweite die Bildweite geändert oder evtl. die Brennweite des Objektivs variiert werden (funktionales Denken). Vergleichend wird man hier auch noch einmal auf die Scharfeinstellung durch das tierische oder menschliche Auge zurückgreifen (Ph Kl. 6; Bio Kl. 8).
Ergänzend sollte darauf verwiesen werden, daß optisch gesehen Kamera und Filmkamera und entsprechend auch Bildwerfer und Filmprojektor prinzipiell übereinstimmen und daß nicht im optischen, sondern im mechanischen Aufbau und in der Funktionsweise der Geräte die wesentlichen Unterschiede liegen.

Folie
Bild 148/1

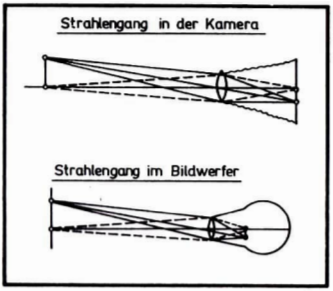


Tafelbild
Bild 148/2



a
b

Bild 148/3



c
d

8. Stunde: Fernrohr und Mikroskop

Stundenziele

Die Schüler

- lernen Prinzipielles über den Aufbau und die Wirkungsweise von Fernrohr und Mikroskop kennen;
- können den Strahlengang am astronomischen Fernrohr und am Mikroskop in groben Zügen angeben. Sie üben sich im statischen und im dynamischen Beschreiben und im Vergleichen der Geräte;
- überzeugen sich von der Leistungsfähigkeit der optischen Industrie in der DDR.

Unterrichtsmittel

Schulfernrohr und/oder Bilder eines astronomischen Fernrohrs
Schulmikroskop und/oder Bilder eines Mikroskops
Fernrohr aus Experimentieraufbauteilen
Mikroskop aus Experimentieraufbauteilen

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Lupe unter Rückgriff auf das Einteilungsschema der optischen Geräte (W. Fst, LK)	SV, Lehrer gibt notfalls dirigierende Hinweise
(2) Genetische Bearbeitung des astronomischen Fernrohrs und des Demonstrationsgerätes aus Experimentieraufbauteilen betreffs – Aufbau (Objektiv-Zwischenbildebene-Okular) – Strahlengang – Auflösungsvermögen – Verwendungszweck **20 min**	Die Gesamtabbildung wird in zwei Schritten vollzogen: 1. Abbildung eines weit entfernten Gegenstandes durch Linsensystem im Fernrohrobjektiv. Erzeugung und Demonstration eines reellen (Zwischen-)Bildes. 2. Das Zwischenbild wird als neuer Gegenstand angesehen und durch Linsensystem im Okular in Lupenstellung betrachtet (TB 151/1 a,) Lehrer gibt einen kurzen Hinweis Beispiele werden interpretiert (UG)
1. Teilzusammenfassung durch einen Schüler bezüglich Aufbau und Funktionsweise des Fernrohrs	
(3) Genetische Bearbeitung des Mikroskops und des Demonstrationsgerätes aus Experimentieraufbauteilen betreffs – Aufbau (Objektiv-Zwischenbildebene-Okular)	Die Schüler nennen die wesentlichen optischen Systeme des Mikroskops. 1. Abbildung des nahe liegenden Gegenstandes durch das kurzbrennweitige Objektiv. Erzeugung und Demonstration eines vergrößerten reellen (Zwischen-) Bildes.

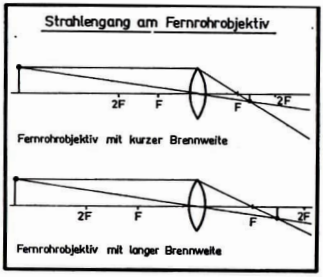
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
– Strahlengang – Verwendungszweck – Auflösungsvermögen – Hinweis auf den optischen Feingerätebau in der DDR und Wertung **25 min**	2. Das Zwischenbild wird als neuer Gegenstand angesehen und durch das Okular in Lupenstellung betrachtet (TB 151/2) Beispiele werden interpretiert (UG) Lehrer gibt einen kurzen Hinweis. Schüler berichten über die optische Industrie in der DDR und versuchen eine Einschätzung zu geben (SV, UG) HA: Wiederholung der Strahlenoptik unter einem bestimmten Aspekt (siehe Stunde 9)
2. Zusammenfassung durch einen Schüler unter besonderer Betonung des Vergleichs von Fernrohr und Mikroskop (SV)	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) und (3) Ähnlich wie die einfachen optischen Geräte sollen auch die zusammengesetzten optischen Geräte unter einem überwiegend vergleichenden Aspekt betrachtet werden. Die technischen Geräte und die adäquaten Experimentiergeräte aus Aufbauteilen werden nach Möglichkeit nebeneinander gestellt und gemeinsam betreffs ihrer wesentlichen Teile und Beziehungen analysiert.
Das Schwergewicht der Stunde ist auf die Abbildungen durch die einzelnen optischen Systeme wie Objektiv und Okular und auf ihr Zusammenwirken zu legen. So ist beim astronomischen Fernrohr bei vorgegebener Objektivbrennweite und bei endlicher Gegenstandsweite das Bild besonders groß, wenn auch die Brennweite sehr lang ist. Diese Tatsache kann man schon allein aus bloßen Konstruktionsvergleichen bei Verwendung von Objektiven unterschiedlicher Brennweite folgern (TB 151/2).
Beim Mikroskop ist umgekehrt zum Fernrohr das auffangbare Objektivbild (= Zwischenbild) besonders groß, wenn die Gegenstandsweite möglichst klein gehalten wird. Das bedingt, daß auch die Objektivbrennweite kurz gehalten wird und daß sich die Gegenstandsebene dicht vor der Brennebene des Objektivs befindet. Mit derartigen Betrachtungen kann das funktionale Denken der Schüler weiter vervollkommnet werden.
Auf die Vergrößerung durch optische Instrumente kann aus Zeitgründen nur beiläufig eingegangen werden. Man beachte dabei den Unterschied von subjektiver Vergrößerung und Abbildungsmaßstab, woraus sich eine Doppelbedeutung des Begriffs „Vergrößerung" ergibt. Eine Abbildung kann wie beim Mikroskop eine Vergrößerung und wie beim Fernrohr eine Verkleinerung bewirken.
Bei einer bewußt apperzeptiven Verknüpfung des Physikunterrichtes mit dem Astronomieunterricht empfiehlt es sich, den Teilabschnitt „Fernrohr" von einem Schüler in einem Schülervortrag darbieten zu lassen. Als Literaturquelle könnte u. a. das Lehrbuch Astronomie Kl. 10, S. 8 bis 10 dienen, worin die wichtigsten Fakten in knapper Form zusammengestellt sind.
Entsprechend können dem Buch „Biologie in Übersichten" grundlegende Hinweise zur Handhabung des Mikroskops beim Mikroskopieren (S. 311), Bezeichnungen und Funktionen der Mikroskopteile (S. 309) und einige Geschichtsdaten zur historischen Entwicklung des Mikroskops (S. 298) entnommen werden.

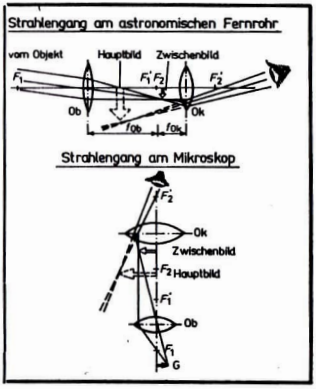
Tafelbild

Bild 151/1



a
b

Bild 151/2



a
b

9. Stunde: Wiederholungsstunde

Stundenziele

Die Schüler

- lernen mit der vertiefenden, erweiternden und ergänzenden Wiederholung behandelte Fakten unter einem ausgewählten Aspekt in einen systematischen Zusammenhang zu bringen;
  haben die wichtigsten Fakten und Beziehungen in der Strahlenoptik erfaßt und
- können sie sprachlich klar und verständlich wiedergeben.

Unterrichtsmittel

Foliensatz nach eigenem Entwurf

Varianten für den Stundenverlauf

Der Lehrstoff kann in mannigfaltigster Weise gefestigt werden; viele Möglichkeiten der Wiederholung bieten sich an. Im folgenden werden mehrere Varianten genannt, wovon aber nur die letzte Variante beschrieben wird.

1. Aufzählende Wiederholung unter einem überwiegend faktologischen Aspekt, indem die wichtigsten Fakten wie Geräte, Erscheinungen, Gesetze usw. nochmals mehr oder weniger stereotyp wiedergegeben werden.
2. Wiederholung unter einem überwiegend historischen Aspekt, indem die einzelnen Fakten und Aussagen in die geschichtliche Entwicklung eingebettet werden und somit ein kurzer Abriß der Optikgeschichte entsteht.
3. Orientierung auf ein bestimmtes Phänomen wie etwa die gemeinsame Reflexion und Brechung des Lichtes beim Übergang von einem optischen Medium in ein anderes Medium von der einfachen Grunderscheinung bis zur konsequenten Anwendung in der Optotechnik. Diese Erscheinung der gemeinsamen Reflexion und Brechung durchzieht nochmals den Lehrstoff wie eine Leitlinie und widerspiegelt ein durchgängiges Prinzip in der Optik.
4. Gegenüberstellung von Reflexion und Brechung und ihre Übertragung auf den optischen Gerätebau.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1a) Reflexion des Lichtes an einer Grenzfläche (1b) Brechung des Lichtes an einer Grenzfläche **5 min**	SV: Reflexion und Brechung des Lichtes an einer Grenzfläche, Reflexions- und Brechungsgesetz.
(2a) Reflexion des Lichtes an einem Hohlspiegel (kurzer Hinweis) (2b) Brechung des Lichtes an einer Sammellinse (ausführlicher) **10 min**	SV: Kurze Bemerkungen zu genannten Phänomenen, Formulierung der Abbildungsgleichung und Diskussion (UG) der unterschiedlichen Gegenstandsweiten unter statischem und dynamischem Aspekt LV: die formale Übereinstimmung der Abbildungsgleichung für Sammellinsen und Hohlspiegel wird erwähnt. Schüler skizzieren den Aufbau eines Reflektors.
(3a) Spiegelteleskop bzw. Reflektor (kurz) (3b) Refraktor (ausführlich) **15 min**	Lehrer nennt die Vorzüge und die Nachteile der beiden Gerätearten
(4a) Spiegelmikroskop (kurz) (4b) Linsenmikroskop (ausführlich) **15 min**	Schüler skizzieren den Aufbau eines Linsenmikroskops. Lehrer beschreibt ergänzend anhand von Fotos (Dias) oder Skizzen auf Folien kurz den Aufbau eines Spiegelmikroskops. Lehrer nennt die Vorzüge und Nachteile der beiden Gerätearten.

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Das Schwergewicht des Unterrichts wird auf die Behandlung der Reflexion und der Brechung gelegt, wobei sich die Betrachtungen vom einfachen Grundphänomen (1a) und (1b) bis hin zur technischen Anwendung erstrecken. Die adäquaten Erscheinungen und Geräte sollten immer vergleichend nebeneinander gestellt werden, um so durch die unmittelbare Konfrontierung das Gemeinsame und das Unterschiedliche leichter erfassen zu können.

(2) Bei der Behandlung der Abbildung durch Spiegel und Linsen kann auf den Unterrichtsstoff, wie er in Klasse 6 durchgenommen wurde, zurückgegriffen werden.

(3) und (4) Das Eingehen auf Spiegelteleskope und auf Spiegelmikroskope bringt nichts grundsätzlich Neues. Auf Refraktoren und Spiegelteleskope ist bereits im Astronomieunterricht (vgl. LB Astro Kl. 10, S. 10) eingegangen worden. Lediglich das Spiegelmikroskop ist für die Schüler neu, auf ihre Existenz kann aber auf Grund der bisher angestellten Vergleiche geschlossen werden. Hierbei genügt es, die Existenz der Spiegelgeräte kurz zu erwähnen, eine genauere Behandlung bezüglich Konstruktion und Funktionsweise verbietet sich aus Zeitgründen.
Einige Teile der Stunde lassen sich in Form vorbereiteter Schülervorträge darbieten, so daß die Schüler u. a. in Vorbereitung auf die Reifeprüfung an das freie Reden gewöhnt werden.
Anstelle der bisher genannten Möglichkeiten kann in der 9. Stunde auch eine umfassende mündliche Leistungskontrolle oder eine schriftliche Leistungskontrolle in Form einer Klassenarbeit durchgeführt werden.

Stoffeinheit Welleneigenschaften des Lichtes — 7 Stunden

Vorbemerkungen

In dieser Stoffeinheit werden — auf Klasse 10 bezugnehmend — in einer vertiefenden und erweiternden Wiederholung vor allem Lehrstoffinhalte zu Beugungs- und Interferenzerscheinungen bearbeitet und gefestigt.
Grundsätzlich neue Lehrstoffe, neuartige Verfahren oder weiterführende Modelle werden in der Stoffeinheit Welleneigenschaften des Lichtes nicht behandelt, wenn man von einzelnen Varianten zur Interferenz absieht. Die Behandlung dieser Stoffeinheit in Klasse 11 ist methodisch-didaktisch gesehen durch die Rückorientierung auf den Lehrstoff der Klasse 10, einer Reaktivierung dieses Lehrstoffes und der Einflechtung der bekannten Stoffinhalte in neue Stoffgefüge charakterisiert.
Mit der Behandlung der Welleneigenschaften des Lichtes darf bei den Schülern keineswegs der Eindruck erweckt werden, als wäre die Wellenoptik eine besondere, in sich abgeschlossene Stoffeinheit und stünde nur in einer losen Verbindung zur Strahlenoptik. Strahlenoptik und Wellenoptik müssen im Unterricht als eine Einheit gesehen und entsprechend behandelt werden. Den Schülern ist dabei deutlich zu machen, daß je nach Gegebenheit das Modell „Lichtwelle" oder das Modell „Lichtstrahl" zur Erklärung der betreffenden Phänomene verwendet wird. Die Kennzeichnung des Lichtbündels durch einen Strahl und die Kennzeichnung der

Wellen durch die Wellennormale machen das Gemeinsame, Übereinstimmende schließlich erkennbar. Die Deutung physikalisch-optischer Phänomene durch Modelle zeigt den Schülern exemplarisch die Dialektik von Erscheinung und Wesen, führt in die physikalischen Denk- und Arbeitsweise ein und trägt zur Entwicklung adäquater Verhaltensweisen bei.
Ein wichtiges Verfahren bei der Behandlung der Stoffeinheit „Welleneigenschaft des Lichtes" sind Analogiebetrachtungen zu physikalisch anderen Wellenarten, insbesondere zu Wasserwellen. Hierbei sind den Schülern immer wieder die Vorzüge und Grenzen von Analogiebetrachtungen deutlich zu machen; die phänomenologischen, experimentellen und theoretischen Vergleiche sind stets kritisch zu werten.
So ist bei der Interpretation des Wellenmodells immer zu beachten, daß experimentell nichts über die Art der Lichtwelle ausgesagt werden kann. In Klasse 10 wurde das Licht informativ als elektromagnetische Welle charakterisiert und in das elektromagnetische Spektrum eingeordnet, hiervon ist auch in Klasse 11 auszugehen.
Grundsätzlich sollten bei der Planung und bei der Behandlung der einzelnen Unterrichtsstunden die Hinweise und Angaben des Lehrplanes Physik für Klasse 10, die Darstellungen im Lehrbuch Physik Klasse 10 und die Hinweise und Anmerkungen aus der Unterrichtshilfe Physik Klasse 10 berücksichtigt werden. Das gleiche gilt für die Durchführung der Schülerexperimente.
Da die Anfertigung der Tafelzeichnungen in der Stoffeinheit oftmals schwierig und zeitaufwendig ist, wird empfohlen, anstelle der Anfertigung umfangreicher Tafelzeichnungen häufiger Projektionsfolien herzustellen und diese im Unterricht zu demonstrieren.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. **Lichtwellen – Wasserwellen** – Schwingungen – Wellen Übertragung der Wellenvorstellung auf die Optik	Schwingungen und Wellen Kenngrößen und graphische Darstellungen (Ph 10)	Wasserwellenwanne, DE: Reflexion und/ oder Brechung des Lichtes, Reflexions- und Brechungsdemonstrationen mit einem Mikrowellensender
2. **Interferenz des Lichtes** – Superpositionsprinzip – Kohärenz – (stationäre) Interferenzmuster	Interferenz (Ph 10)	Bilder von Young, Fresnel, Fraunhofer. Satz selbstgefertigter (Klapp-) Folien zur Interferenz und Kohärenz
3. **Interferenz durch Reflexion und Brechung** – an planparalleler Platte – am Keil		DE: Pohlscher Versuch LB, S. 126 DE: Newtonsche Ringe Skizzen nach WiPh S. 260

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindung zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
4. Interferenz durch Beugung am Doppelspalt – Maxima und Minima verschiedener Ordnung – Ortsabhängige Energieverteilung	Apperzeptiver Rückgriff auf die Behandlung im Physikunterricht Klasse 10	DE: Doppelspalt sinusförmige Drahtmodelle, Sinus-Leisten und/oder Wellenberg-Wellental-Leisten
5. Gitterspektren – Mehrfachspalt – Gitter – Interferenzgleichung – Spektralbereiche	Spektren (Ph 10)	Diasatz: Doppelspalt-Mehrfachspalt-Gitter DE: Beugungsspektren mit Transmissions- und Reflexionsgittern
6. Schülerexperiment zur Wellenlängenbestimmung des Lichtes	SE 6 (Ph 10)	SE: O6
7. Festigung – Gliederung des Stoffes nach erkenntnistheoretischen Schritten – oder Leistungskontrolle in Form einer Klassenarbeit, – oder Leistungskontrolle in Form von Schülervorträgen – oder mündliche Prüfung		Demonstration des Interferometers und/oder eines Gitterspektralapparates Schülervorträge für 1. Stunde Quantenoptik – Äußerer lichtelektrischer Effekt – Aufbau und Wirkungsweise der Vakuumzelle – Modell des elektrischen Leitungsvorganges

1. Stunde: Lichtwellen — Wasserwellen

Stundenziele

Die Schüler

- festigen die Grundbegriffe der Wellenlehre und wenden sie auf die Optik an,
- erkennen, daß die Wellenoptik als ein Teilgebiet der Optik gleichzeitig auch ein Teilgebiet der allgemeinen Wellenlehre ist;
- erfassen und schätzen die Modellvorstellung „Lichtwelle" ein.

Unterrichtsmittel

Wasserwellenwanne mit Zubehör
(Mikrowellengenerator mit Spiegel und/oder Prisma)
Lichtwurflampe mit Planspiegel und/oder Prisma

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Einführung in die Wellenoptik (E; W) – ihre Stellung im System der Optik – das Wesen der Wellenoptik **10 min**	Rückgriff auf das Bild zur Hierarchie der Optik (UG) 1. Stunde Strahlenoptik/S. 136 (Bild 136/1) Vergleich mit Strahlenoptik (UG, TB 157/1)
In der Wellenoptik als einem Teilgebiet der Optik werden Beugungs- und Interferenzphänomene mit Hilfe des Modells „Lichtwelle" beschrieben und erklärt.	
(2) Begriff der Schwingung – speziell – allgemein und grafische Darstellung der Schwingung (W)	Mechanische Schwingung am Beispiel des Fadenpendels und Verallgemeinerung des Begriffs Die Kenngrößen der Schwingung werden zusammengetragen (SSA) und erläutert (UG)
(3) Begriff der Welle – speziell – allgemein und grafische Darstellung des Momentanbildes einer Welle (W) **15 min**	Mechanische Welle am Beispiel Wasserwelle und Verallgemeinerung des Begriffs Die Kenngrößen der Welle werden zusammengetragen (SSA) und erläutert (UG)
Die Schwingung ist eine periodische Funktion der Zeit. Die Welle ist eine periodische Funktion der Zeit und des Ortes.	
(4) Übertragung der Wellenvorstellung auf die Optik (E/W) **15 min**	Wasserwellen (DE), (und Hertzsche Wellen) und Lichtwellen (DE) werden bezüglich Reflexion und/oder Brechung verglichen (UG, LB Bild 124/1)
(5) HA: Zusammenstellung der Lebensdaten von Young, Fresnel und Fraunhofer und ihrer Leistungen zur Wellenoptik für SV **5 min**	Hinweis auf zur Verfügung stehende Literatur

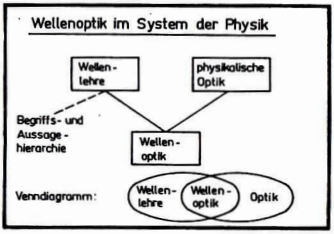
Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) und (3) Zusammenfassend und verallgemeinernd werden die Kenngrößen der Schwingung wie Amplitude, Phasenkonstante, Schwingungsdauer, Frequenz und Kreisfrequenz und die zusätzlichen Kenngrößen der Welle wie Wellenlänge und (Phasen-) Geschwindigkeit zusammengetragen und bestimmt. In Ergänzung zur Pendeldarstellung (LB, S. 123) können als eine weitere Illustrierung solcher Beziehungen auch die Vorgänge in einem elektrischen Schwingkreis mit Hilfe der Spannung, der Stromstärke, der elektrischen Feldstärke beschrieben werden. Bei der Systematisierung der Kenngrößen einer Schwingung und einer Welle können — soweit noch vorhanden — das Lehrbuch Physik Klasse 10, „Physik in Übersichten" und der „Wissensspeicher Physik" verwendet werden.

Im Unterricht ist von Anfang an deutlich herauszuarbeiten, daß immer zwischen dem objektiv-gegenständlichen Schwinger und der mathematisch-physikalischen Schwingung zur Widerspiegelung des periodischen Ablaufes zu unterscheiden ist und daß in den meisten konkreten Fällen verschiedene physikalische Größen zur Beschreibung des Bewegungsvorganges einer Schwingung benutzt werden können. Aus diesem Grunde interpretiere man recht gründlich das Bild 123/1 im Lehrbuch. Es ist zu beachten und zu betonen, daß nur Schwingungen und Momentanzustände einer Welle in einem Koordinatensystem grafisch darstellbar sind, daß aber Wellen in einem Koordinatensystem grafisch nicht wiedergegeben werden können.

(4) Bei der vergleichenden Betrachtung von Wasserwellen und Lichtwellen müssen gleichermaßen die Gemeinsamkeiten und die Unterschiede gesehen werden. Man beachte, daß sich Wasserwellen als Oberflächenwellen innerhalb einer Grenzfläche und Lichtwellen frei im Raum ausbreiten, daß sie sich bezüglich ihres Wesens, ihrer Wellenform, ihrer Ausbreitungsgeschwindigkeit, ihrer Stoffgebundenheit grundsätzlich unterscheiden und nur im äußerlich-phänomenologischen Bereich wie Reflexion, Brechung Übereinstimmungen zeigen. Bei Berücksichtigung der Ausbreitung Hertzscher Wellen sollte auch ein Mikrowellengenerator eingesetzt und die Reflexion und/oder Brechung demonstriert werden.

Tafelbild
Bild 157/1



2. Stunde: Interferenz des Lichtes

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen das Wesen der Interferenz und der Kohärenz;
- üben sich im selbständigen Erarbeiten eines physikalischen Sachverhaltes und in der verbalen Widergabe des angeeigneten Lehrstoffes;
- begreifen, daß nur kohärentes Licht interferenzfähig ist.

Unterrichtsmittel

Bildmaterial und Literatur über Young, Fresnel, Fraunhofer,
Satz Folien zur Darstellung der Interferenz
Satz Folien zur Darstellung der Kohärenzbedingungen bei der Erzeugung stationärer Interferenzfiguren

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Historische Betrachtungen Young Fresnel Fraunoferh **10 min**	SV, Lehrer ergänzt evtl. Lebensdaten und Leistungen
(2) Interferenzprinzip Wellenberg und Wellental – Verstärkung, Schwächung und Auslöschung des Lichtes – Interferenz am Doppelspalt **15 min**	Von Wasserwellen ausgehend werden die Begriffe Wellenberg und Wellental präzisiert (UG) Die Verstärkung, Schwächung und Auslösung des Lichtes wird erläutert (TB 159/1, LV)
1. Teilzusammenfassung: Ein Schüler formuliert das Interferenzprinzip (SV)	
(3) Kohärenz totale und partielle Überlagerung der Wellenzüge **15 min**	Erarbeitung mit dem Lehrbuch (LB, S.126ff, SSA) Diskussion des Gelesenen (UG)
2. Teilzusammenfassung: Begriff der Kohärenz und die Kohärenzbedingungen werden von einem Schüler vorgetragen (SV)	
(4) Begriff der (stationären) Interferenzmuster als Endzusammenfassung (W/Fst) **5 min**	Kombination des Interferenzprinzips mit der Kohärenzbedingung, um (stationäre) Interferenzmuster zu erklären (TB 159/2, SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

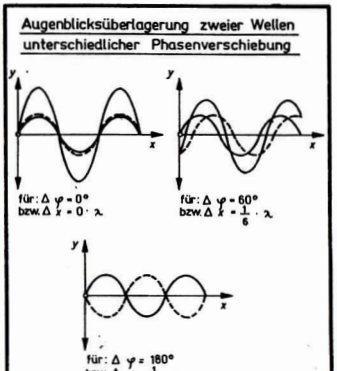
(2) Von der anschaulichen Beschreibung einer Wasserwelle ausgehend, werden die Begriffe „Wellenberg" und „Wellental" auf die Lichtwelle übertragen, indem ganz allgemein der positive Teil der Wellenperiode in der grafischen Darstellung des Momentanzustandes der Welle als Wellenberg und der negative Teil in der grafischen Darstellung als Wellental bezeichnet werden. Das Ruheniveau dient als Bezugsgröße.
Zur Problematik der vektoriellen Überlagerung zweier phasenverschobener Wellenzüge mit Verstärkung oder Schwächung oder völliger Auslöschung des Lichtes sollten – um bei den Schülern ein tieferes Verständnis für die Beziehungen zu wecken – Fallunterscheidungen vorgenommen und diskutiert werden (TB 159/1a,b,c).

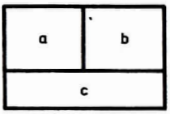
a) Bei $\Delta\varphi = 0°$ erhält man eine maximale Verstärkung, wobei der Ordinantenwert zwischen dem Nullwert und den Maximalwerten laufend schwankt (TB 159/1a).
b) Bei einer Phasenverschiebung zwischen 0° und 180° erhält man eine partielle Verstärkung oder eine partielle Auslöschung. Auch hier schwingt die Elongationsgröße fortwährend zwischen den entsprechenden Maximalwerten, wobei diese aber nicht den Amplitudenwert aus Bild 159/1a erreicht (TB 159/1b).
c) Beträgt die Phasenverschiebung zwischen zwei Wellenzügen 180° oder ein ungeradzahliges Vielfaches davon, dann tritt bei Amplitudengleichheit beider Wellenzüge eine fortwährende Auslöschung auf. Sie ist unabhängig von der Zeit und dauert fortwährend an. (TB 159/1c)

Ergänzend zur vektoriellen Überlagerung der Wellenzüge können auch entsprechende Rechnungen durchgeführt werden (zusätzliche Hausaufgabe).
Nach der Klärung dieser Grundprozesse wird man die Ergebnisse auf die Interferenz hinter einem Doppelspalt propädeutisch übertragen und näher betrachten (LB, Bild 126/1). Zur besseren Illustrierung der Beziehungen wird man sich nach dem Muster im Lehrbuch einen entsprechenden Foliensatz fertigen und mit Hilfe eines Tageslichtschreibers projizieren.

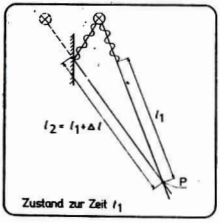
(3) und (4) Der nächste Schwerpunkt der Stunde ist auf die Erarbeitung des Kohärenzbegriffes und auf das Entstehen (stationärer) Interferenzmuster zu legen. Es muß den Schülern hierbei exemplarisch deutlich gemacht werden, wie die einzelnen, fortlaufenden kohärenten Wellenzüge desselben „Lichtblitzes" immer dieselben optischen Bahnkurven durchlaufen und auf Grund der konstanten optischen Weglängendifferenz an den ausgewählten Stellen im Wellenfeld stets dieselbe Phasendifferenz zeigen.
Diese konstant bleibende Phasendifferenz bedingt dann an der betreffenden Stelle des Raumes eine Verstärkung, Schwächung oder Auslöschung des Lichtes im diskutierten Sinne.

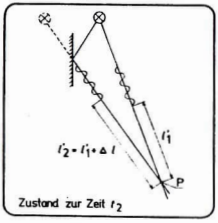
Tafelbild
Bild 159/1

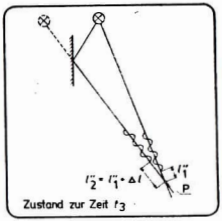




Folien
Bild 159/2







3. Stunde: Interferenz durch Reflexion und Brechung

Stundenziele

Die Schüler

- können das Interferenzprinzip auf konkrete Fälle anwenden;
- können die entstehenden Interferenzmuster anhand des Interferenzprinzips erklären;
- vervollkommnen sich im Aufbauen und im Beschreiben der Experimentieranordnungen und üben sich in der Interpretation der Experimentierergebnisse.

Unterrichtsmittel

Interferenzversuch nach Pohl: PSV 10, V. 2.3.1.
Newtonsche Ringe: PSV 10, V. 2.1.5.
Interferenzversuch mit einer Seifenlamelle: PSV 10, V. 2.1.7. oder andere Versuchsvarianten.
Die Experimentieraufbauten und die Durchführung von Experimenten vereinfachen sich zum Teil, wenn anstelle der üblichen Lichtquellen ein Laser verwendet werden kann.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Stoffbereitstellung für die Durchführung der Demonstrationsversuche **5 min**	Wiederholung des Interferenzprinzips und der Kohärenzbedingungen (SV)
(2) Pohlscher Versuch **15 min**	Objektivierung der Skizze (LB, S. 128/4) durch Schüler und Lehrer (DE) Beschreibung des Pohlschen Versuchsaufbau und Interpretation des Experimentierergebnisses (SV)
(3) Newtonsche Ringe **15 min**	Objektivierung der Skizze (LB, 129/1) Beschreibung des Versuchsaufbaus und Interpretation des Experimentierergebnisses (SV). Dabei Vergleich der Strahlengänge zur Interferenz an einer parallelen und an einer keilförmigen Platte (TB 161/1).
(4) Zur Vorbereitung des nächsten Stundenthemas: Interferenz durch Beugung am Doppelspalt. **10 min**	Lehrer gibt Hinweise zur Realisierung des Wissens aus Kl. 10 und nennt Schwerpunkte

Erläuterungen zum Stundenverlauf

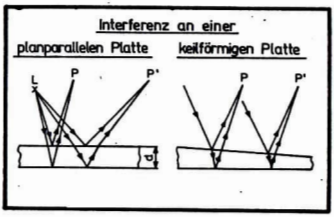
Der Schwerpunkt der Stunde liegt auf der Demonstration einiger ausgewählter Experimente zur Erzeugung von Interferenzen durch Reflexion und Brechung.
Bei der Wahl der Aufbauteile (z.B. Dicke der Glasplatten) für den jeweiligen Versuchsaufbau muß die Kohärenzlänge der Wellenzüge berücksichtigt werden. Für streng monochromatisches Licht einer üblichen Lichtquelle ergibt sich eine Kohärenzlänge von einigen Dezimetern, während bei inhomogenem Glühlicht Kohärenzlängen in der Größenordnung von nur einigen Mikrometern erreicht werden. Mit Laserlicht erzielt man dagegen Kohärenzlängen von mehreren Kilometern Länge. Das bedeutet, daß bei Verwendung von Laserlicht ohne weiteres dickere Glasplatten (z.B. Deckgläser und Objektträger für Mikroskope) verwendet werden können.
Der Unterschied von geometrischer Weglänge und optischer Weglänge ist zu beachten.

(1) Bei der Stoffbereitstellung durch Wiederholung müssen die Schüler das Wesen des Interferenzprinzips und des Kohärenzprinzips deutlich herausarbeiten.

(2) Beim Pohlschen Versuch handelt es sich um Young-Fresnelsche Interferenzen an einer planparallelen Platte mit zwei Spiegelbildern als Wellenzentren.

(3) Bei der Behandlung der Newtonschen Ringe ist unter Bezugnahme auf den Seifenlamellenversuch (LB, S. 128) deutlich zu machen, daß es sich um einen Sonderfall der Interferenz am Keil handelt.
Die Newtonschen Ringe sollen wegen der stärkeren Kontrastwirkung vor allem in Aufsicht betrachtet werden. In Durchsicht macht sich die verhältnismäßig starke Überstrahlung der Interferenzringe störend bemerkbar.

Tafelbild
Bild 161/1



4. Stunde: Interferenz durch Beugung am Doppelspalt

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Interferenz durch Beugung am Doppelspalt;
- verbinden ihre Kenntnisse zur Interferenz eng mit denen über Beugungserscheinungen am Doppelspalt und üben sich für ausgewählte Fälle im Aufstellen der Interferenzgleichung;
- erfassen abermals, wie mit Hilfe von Modellvorstellungen komplizierte Vorgänge und Erscheinungen in der Natur (hypothetisch) erklärt werden können.

Unterrichtsmittel

Doppelspaltfolie, 2 Folien dazu mit kreisförmigen, konzentrischen Wellenfronten, drehbare Sinus-Leisten und Wellenberg-Wellental-Leisten
PSV 10, V. 2.2.2.
Wasserwellenwanne

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Beugung von Wasserwellen hinter einem Doppelspalt und Analogiebetrachtungen zum Licht (W/Fst) (2) Begriffliche Klärung der Details am Doppelspalt (E): – zwei kongruente Rechteckköffnungen – Steg und Stegbreite – homologe Punkte und homologe Strahlen **10 min**	Lehrer erzeugt reaktivierend Beugungen von Wasserwellen hinter einem Doppelspalt und baut eine entsprechende Versuchsanordnung für Licht auf (UG, K, DE). Die entsprechenden Details werden an einem originalen Doppelspalt und einer entsprechenden Skizze (TB 165/1) fixiert und mit Hilfe der Gegenstand-Bild-Betrachtung begrifflich gefestigt (UG)
Zur Erklärung der Interferenz durch Beugung am Doppelspalt dienen homologe Strahlen, die willkürlich ausgewählt und zur Überlagerung gebracht werden.	
(3) Ablenkwinkel für: – Maxima 1. Ordnung – Maxima 2. Ordnung ⋮ – Maxima n. Ordnung (E) **10 min**	Beschreibung der Strahlenverläufe. An drehbaren Folien (oder anhand einer Folge von Tafelskizzen) werden die einzelnen Fälle (Zustände) dargestellt und diskutiert (UG)
(4) Ablenkwinkel für: – Minima 1. Ordnung – Minima 2. Ordnung ⋮ – Minima n. Ordnung (E) **10 min**	Beschreibung der Strahlenverläufe. An drehbaren Folien (oder anhand einer Folge von Tafelskizzen) werden die einzelnen Fälle (Zustände) dargestellt und diskutiert (UG) Zusammenfassung (LV, SV)
Maxima treten bei Weglängendifferenzen von $1\lambda, 2\lambda, \ldots, n \cdot \lambda$ auf. Minima treten bei Weglängendifferenzen von $\frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \ldots, \frac{(2n-1)}{2}\lambda$ auf.	
(5) Interferenzgleichung (E) – Ableitung – Interpretation – ortsabhängige Energieverteilung	Die Interferenzgleichung wird abgeleitet (LV), verbal beschrieben (SV) und betreffs ihres Inhaltes gründlich diskutiert (UG)
(6) HA: Stegbreite wird variiert **15 min**	Die Auswirkung auf den Abstand der Interferenzstreifen wird ermittelt (funktionales Denken)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Der Rückgriff auf die Interferenz von Wasserwellen hinter einem Doppelspalt soll und kann den Schülern nur einen ungefähren Eindruck von der Überlagerung der Wellen vermitteln. So entspricht in der Optik ein Spalt mit der Spaltbreite von beispielsweise 0,1 mm lichter Weite 200 Wellenlängen des Lichtes mit der Wellenlänge von 500 nm. In den dazugehörigen Skizzen und in einer Wasserwellenwanne werden diese Verhältnisse nicht annähernd erreicht. Entsprechendes gilt auch für den Abstand Doppelspalt — Auffangschirm betreffs Anzahl der Wellenlängen. Bei der Behandlung der Bilder (LB, S. 132) müssen die zahlenmäßig richtigen Beziehungen den Schülern deutlich gemacht werden.

(2) Vor der Durchführung der Strahlenkonstruktion am Doppelspalt ist herauszuarbeiten, daß jeder beliebige Punkt innerhalb jeder Öffnungsebene des Doppelspalts zum Ausgangspunkt der Betrachtungen gemacht werden kann und daß es beliebig viele homologe Punktpaare gibt. Die Auswahl der homologen Punkte unterliegt also einer gewissen Willkür. Bei der Erklärung der Termini „homologe Punkte" und „homologe Strahlen" sollte auf entsprechende Begriffe im Biologie- und im Chemieunterricht zurückgegriffen werden. Erinnert sei nur an homologe Organe im Tier- und im Pflanzenreich und an homologe chemische Reihen. Die von den homologen Punkten ausgehenden (Elementar-) Wellen überlagern sich in jedem Punkt des Wellenfeldes nach dem Prinzip der ungestörten Superposition, wodurch im gesamten Wellenfeld zunächst völlig unübersichtliche Überlagerungsverhältnisse auftreten.
Es werden nun charakteristische Stellen im Überlagerungsgebiet gesucht, um die Überlagerung an diesen ausgezeichneten Stellen mit mathematisch-grafischen Mitteln leicht erfassen und einfach beschreiben zu können. Hierzu eignen sich Folien mit konzentrischen, kreisförmigen Wellenfronten, Sinus-Leisten, Wellenberg-Wellental-Leisten usw. Durch die Kombination der einzelnen Folien lassen sich die vielfältigsten Beziehungen und Entsprechungen in einem Wellenfeld verhältnismäßig leicht veranschaulichen.

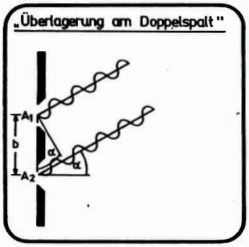
(3) und (4) Schwerpunkt bei der Diskussion zur Überlagerung der Wellen im Wellenfeld ist die Orientierung auf solche Ablenkwinkel des Lichtes, bei denen Maxima und Minima auftreten. Unter Bezugnahme auf die zweite Unterrichtsstunde in der Stoffeinheit „Wellenoptik" ist klar herauszuarbeiten, daß es sich hierbei um Sonderfälle handelt und daß bei anderen Winkelwerten selbstverständlich auch Überlagerungen in Form von Verstärkungen und Schwächungen auftreten. Besonderes Gewicht ist auf die klare Bestimmung und Wertung der jeweiligen Ordnungszahl der Maxima und Minima zu legen. Treten in der Stunde Schwierigkeiten aus Zeitgründen auf, dann kann der Teil (4): Ablenkwinkel für Minima aus der Stunde herausgenommen und eventuell als zusätzliche Hausaufgabe gestellt werden.

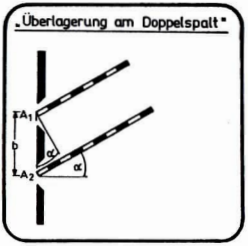
(5) Zur Vereinfachung der grafischen Darstellung bei der Ableitung der Interferenzgleichung ist den Betrachtungen immer stillschweigend eine Fraunhofersche Anordnung mit parallelem Licht zugrunde gelegt worden. Bei den entsprechenden Beugungsversuchen in der Fraunhoferschen Anordnung entstehen die Beugungsfiguren in der Brennebene der Sammellinse. Im Unterricht wird demgegenüber aber meist mit einer Fresnelschen Anordnung gearbeitet, wodurch auf eine Sammellinse zum Konvergentmachen des parallelen Lichtes verzichtet werden kann. Die Interferenzgleichung wird in gewohnter Weise abgeleitet. Dabei sind die Schüler auf den faktisch sehr großen Abstand Doppelspalt — Auffangschirm im Vergleich zur Wellen-

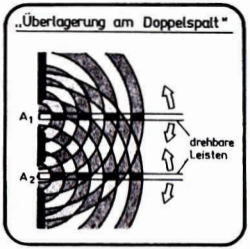
länge des Lichtes aufmerksam zu machen und auf die sich daraus ergebende Tatsache zu verweisen, daß die Abweichung der sehr schwach konvergierenden Lichtstrahlen von wirklich parallelem Licht vernachlässigt werden kann.
Es wird ein kurzer Hinweis auf die Energieverteilung im Überlagerungsbereich gegeben.

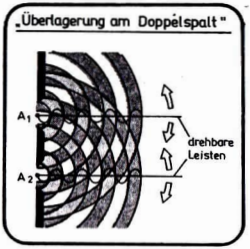
(6) Die sich aus der Hausaufgabe ergebenden Überlegungen dienen der Festigung und Vertiefung des Erlernten, wobei sich die Schüler im funktionalen Denken üben

Folie
Bild 164/1

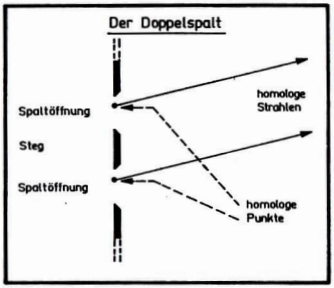








Tafelbild
Bild 165/1



5. Stunde: Gitterspektren

Stundenziele

Die Schüler

- können Beugungsspektren erzeugen, beschreiben und erklären;
- können ihre gewonnenen Kenntnisse formal auch auf die sogenannte „unsichtbare" Strahlung übertragen und entsprechende Spektren interpretieren;
- kennen die Bedeutung von Modellvorstellungen bei der Erklärung experimentell gewonnener Fakten.

Unterrichtsmittel

Diasatz: Doppelspalt — Mehrfachspalte — Gitter
Foliensatz mit konzentrischen, kreisförmigen Wellenfronten und mit drehbaren Sinus- oder Wellenberg-Wellental-Leisten (wie in der 4. Stunde)
Lichtquellen, Kondensorlinse, Spaltblende, Abbildungslinse, Transmissions- oder Reflexionsgitter, Auffangschirm, optische Bank mit Reitern

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Interferenzgleichung für den Doppelspalt (W) (2) Übergang vom Doppelspalt zu Mehrfachspalten mit 4, 8, 16 Öffnungen (W) **15 min**	Reaktivierung des Wissens und Könnens zur Sicherung des Ausgangsniveaus unter Einbeziehung der HA (SV, K) Induktive Ausweitung durch eine extrapolierende Generalisierung (UG)
Ein Mehrfachspalt mit zahlreichen äquidistanten Öffnungen gleicher Größe wird als Gitter bezeichnet. Ein solches Gitter erzeugt Beugungsspektren unterschiedlicher Ordnung.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Beugungsspektren (W) – Spektren unterschiedlicher Ordnung – Farbfolge in den kontinuierlichen Spektren – Vergleich mit Dispersionsspektren **10 min**	Planung und Aufbau einer Experimentieranordnung zur Erzeugung eines Beugungsspektrums (DE), ausgehend von einer Experimentieranordnung zur Erzeugung eines Dispersionsspektrums (TB 167/1) Beschreibung des Beugungsspektrums (SV) Vergleich eines Beugungs- und eines Dispersionsspektrums bezüglich der Farbanteile und der Farbfolge (UG)
(4) Interferenzgleichung für ein optisches Gitter (E) **10 min**	Logischer Schluß auf die spektrale Zerlegung des Lichtes (UG)
(5) UR- und UV-Spektrum und Hinweise auf Röntgenspektrum HA: Protokoll für SE 06 **10 min**	Extrapolation auf sogenanntes „unsichtbares" Licht. Interpretation der entsprechenden Spektren (UG) Wird von den Schülern vorbereitet (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

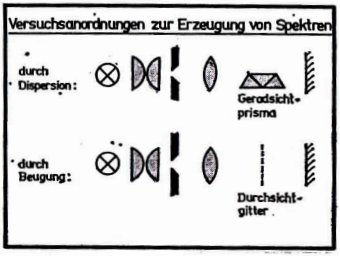
(2) In einer konkreten Versuchsreihe oder ersatzweise mit Hilfe einer entsprechenden Diareihe sollen die Veränderungen im Spektrum bei Vergrößerung der Anzahl der Spaltöffnungen (Verdoppelung oder Erhöhung der Spaltanzahl um jeweils eins) sichtbar gemacht werden. Daraus folgernd können die entsprechenden Extremwerte der dazugehörigen Intensitätskurve in Abhängigkeit vom Ablenkwinkel des Lichtes grafisch aufgetragen werden. Mit der Bestimmung der Maxima und der Minima lassen sich nur die Extremwertstellen der Intensitätskurven ermitteln. Über die Kurvenform selbst kann damit aber noch nichts ausgesagt werden, sie muß zunächst willkürlich festgelegt werden. Die Veränderung der Beugungsfiguren mit zunehmender Spaltanzahl sollte phänomenologisch genau beschrieben und damit zu einem Schwerpunkt der Unterrichtsstunde gemacht werden. Die Schüler müssen erkennen, daß mit der Vergrößerung der Anzahl der Spaltöffnungen die Maxima des Doppelspaltes erhalten bleiben, aber schärfer und energiereicher werden.
Beim Einsatz von Beugungsgittern ist immer zwischen Transmissionsgittern und Reflexionsgittern zu unterscheiden. Bei den praktischen Demonstrationen ist vom Lehrer zu beachten, daß bei Gittern mit einer kleinen Gitterkonstante bzw. einer hohen Anzahl von Gitterelementen nur Spektren bis zu einer bestimmten Ordnungszahl auftreten.

(3) Im Sinne einer immanenten Wiederholung und einer klaren Abgrenzung von den Dispersionsspektren wird man die Beugungsspektren mit den Dispersionsspektren nebst der entsprechenden Experimentieranordnung von den Schülern bewußt vergleichen lassen und dabei Gemeinsames und Unterschiedliches deutlich herausarbeiten. Insbesondere wird man auf die Anzahl der auftretenden Spektren, auf die Farbanteile und die Farbfolge in den einzelnen Spektren eingehen.

(4) Die Interferenzgleichung für den Doppelspalt wird auf das Gitter formal übertragen, indem man sich das Gitter aus vielen Doppelspalten zusammengesetzt denkt. Aus diesem Grunde wird man sich auch bei der Alternativentscheidung unter (2) für eine laufende Verdopplung der Spaltanzahl entscheiden.

Bei der Interpretation der Interferenzgleichung für monochromatisches und nichtmonochromatisches Licht weise man auf die seitliche Verschiebung der Intensitätskurven im Spektrum für verschiedenfarbiges Licht hin. Bei der weiterführenden Diskussion der Intensitätskurven ergibt sich dann zwangsläufig, daß bei Versuchen mit „weißem Glühlicht" gegeneinander verschobene Kurven entstehen und sich im Experiment als ein kontinuierliches Spektrum bestimmter Ordnung bemerkbar machen, während bei monochromatischem Licht Linienspektren entstehen.

Tafelbild
Bild 167/1



6. Stunde: Schülerexperiment zur Wellenlängenbestimmung des Lichtes

Stundenziele

Die Schüler

- wenden die Interferenzgleichung an;
- können die Wellenlänge des Lichtes experimentell bestimmen;
- erfassen, daß auch absolut sehr kleine Größen (hier: die Wellenlänge des Lichtes) mit Hilfe geschickt ausgewählter Meßverfahren bestimmbar sind.

Unterrichtsmittel

Schülerexperimente Physik Klassen 11 und 12: 0 6

Stundenverlauf

Die Schüler führen das Schülerexperiment nach 0 6 (nach PSV 10, V 2.2.9. oder V 2.2.12.) in Form einer Schülerübung in gleicher Front selbständig durch.
Hausaufgabe für 7. Stunde: Durcharbeiten der Zusammenfassung (LB, S. 133)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Bei der Durchführung des Schülerexperimentes wird nach den Angaben in der Versuchsanleitung verfahren. Zu beachten ist dabei, daß ein ähnliches Schülerexperiment bereits in Klasse 10 durchgeführt worden ist.
Die HA dient der Vorbereitung der Schüler auf die 7. Stunde.

7. Stunde: Festigung durch Wiederholen, Zusammenfassen und Anwenden (1. Variante)

Stundenziele

Die Schüler

- lernen unter dem Aspekt der Modellvorstellungen wiederholend und zusammenfassend die erkenntnistheoretische Durchdringung der Wellenoptik kennen;
- können die gewonnenen Fakten auf Anwendungsbeispiele übertragen;
- vertiefen ihre philosophisch-weltanschauliche Auffassung von den Modellen.

Unterrichtsmittel

Interferometer (nach Michelson) oder Bilder dazu
Gitterspektralapparat oder Bilder dazu

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Vertiefung des Lehrstoffes unter einem historisierend erkenntnistheoretischen Aspekt (W)	Lehrer lenkt Hauptaugenmerk der Schüler auf das Zusammenspiel von Problemstellung, Hypothese, Verifikation und Objektivierung bei der Entwicklung der Modellvorstellungen (LV)
(1) Modell „Lichtstrahl"	Charakterisierung des Begriffs „Lichtstrahl" (SV)
(2) Problemstellung – Problem erkennen – Problem formulieren	Beugungserscheinungen hinter einem Doppelspalt werden vertiefend beschrieben (LB, S. 134, SV)
(3) Hypothesenbildung „Licht als Welle"	Zur Erklärung der Beugungserscheinungen wird auf der Grundlage von Analogiebetrachtungen die Modellvorstellung „Lichtwelle" entwickelt (LB, S. 134, UG)
(4) Prognose als Folgerung – für Doppelspalt – für Gitter – für planparallele Platte – für Keil	Interferenzen durch Beugung und Interferenzen durch Reflexion und Brechung werden vorausgesagt und experimentell verifiziert (LB, S. 134, UG)
(5) Präzisierung des Begriffs „Lichtstrahl" **30 min**	Der Lichtstrahl wird als Wellennormale gedeutet (LB, S. 134, SV)
(6) Anwendung: – Interferometer oder – Gitterspektralapparat **15 min**	DE: Interferometer oder Gitterspektralapparat. Beschreibung bezüglich Aufbau und Wirkungsweise (SV, UG).

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) bis (5) Die Zusammenfassung des Lehrstoffes wird unter erkenntnistheoretischem Aspekt durchgeführt, wobei auf in ähnlicher Weise durchgeführte Stoffbehandlungen (vgl. z. B. den „freien Fall" im Lehrbuch Physik Kl. 9, S. 16 bis 21) zurückgegriffen oder verwiesen wird. Die Zusammenfassung kann im Unterrichtsgespräch erarbeitet oder in Form eines vorbereiteten Schülervortrages mit anschließender Diskussion dargeboten werden. Die logische Schrittfolge ist im Lehrbuch (S. 134) angegeben, die einzelnen Schritte brauchen nur näher erläutert zu werden.
Abschließend sollte zusammenfassend und vororientierend darauf verwiesen werden, daß bestimmte experimentelle Ergebnisse, die erst später behandelt werden, sich nicht mit dem Modell Lichtwelle vereinbaren lassen und durch eine andere Modellvorstellung erklärt werden müssen.
Somit können die Schüler die Gültigkeitsbereiche und die Gültigkeitsgrenzen der einzelnen Modelle erfassen oder zumindest erahnen.
(6) Ein Interferometer oder ein Gitterspektralapparat wird vorgeführt und betreffs Aufbau und Wirkungsweise kurz beschrieben. Aufbau und Wirkungsweise des Interferometers werden anhand des Lehrbuchs (S. 132/133) erläutert.
Gitterspektralapparate bieten im Vergleich zum entsprechenden physikalischen Grundversuch nichts wesentlich Neues. Bei der Behandlung der Gitterspektralapparate verweise man kurz auf den grundsätzlichen Unterschied von Gitterspektroskop, Gitterspektrographen und Gitterspektrometer.

7. Stunde: Leistungskontrolle (2. Variante)

Die Stunde wird vom Lehrer individuell gestaltet, indem eine Leistungskontrolle in Form einer Klassenarbeit, in Form von Schülervorträgen oder einer mündlichen Prüfung durchgeführt wird.

Stoffeinheit Quantenhafte Absorption und Emission von Licht, Welle-Teilchen-Verhalten bei Mikroobjekten

14 Stunden

Vorbemerkungen

Im Mittelpunkt der Stoffeinheit steht das Wesen des Lichtes. Ausgehend von dem diesbezüglich bereits recht umfangreichen Wissen der Schüler werden systematisch qualitative und quantitative Untersuchungen durchgeführt. Sie führen zu wichtigen Informationen über das Licht, aber auch über den Bau der Stoffe. Sie lassen den Schülern die Grenzen der Anwendbarkeit klassisch-mechanischer Modelle bewußt werden und zeigen ihnen besonders deutlich das ständige Fortschreiten der Erkenntnis und ihre immer größere Sicherheit. Die Untersuchungen gipfeln in dem Ergebnis, daß alle Mikroobjekte wichtige gemeinsame Eigenschaften besitzen. Diese Erkenntnis trägt in hohem Maße zur Systematisierung des Wissens der Schüler bei.

Neben der konsequenten Fortführung der Leitlinie „Struktur" tritt die Leitlinie „Energie" in einigen Unterrichtsstunden in den Vordergrund, z. T. in sehr enger Verknüpfung mit der Leitlinie „Struktur".
Große Bedeutung kommt der Planung, Durchführung, Auswertung und Deutung der Experimente zu. Sie stellen die Stützpfeiler aller Untersuchungen dar. Damit werden in dieser Stoffeinheit wichtige Beiträge geleistet, die Fähigkeit der Schüler zu erweitern, Experimente sorgfältig zu planen, durchzuführen und auszuwerten.
Den Schülern muß bewußt werden, daß die planmäßige Untersuchung der Wechselwirkung Licht — Stoff zu einer Fülle von Informationen über das Wesen des Lichtes und den Bau der Stoffe führt. Hinweise hierzu enthält PhiS 76 (1978) 3 S. 108; Wilke: Vorschläge zur experimentell-methodischen Behandlung der Wechselwirkungen Licht — Stoff. Das Bewußtmachen der wechselseitigen Beeinflussung von Licht und Stoff vermittelt den Schülern gleichzeitig einen Einblick in ein wesentliches Verfahren der Mikrophysik. Gerichtete Einflußnahme auf das zu untersuchende Objekt (Licht bzw. Stoff) führt zu Veränderungen; aus den Veränderungen entweder bzgl. des Lichtes oder des Stoffes oder beider zieht man Folgerungen bzgl. der Struktur und der Eigenschaften.
Mathematische Betrachtungen und Darstellungen bleiben auf das Allerwesentlichste beschränkt. Soweit sie jedoch in den Unterricht einfließen, müssen sie auch unbedingt von den Schülern beherrscht werden.
Die Stoff-Zeit-Relation läßt einerseits eine gründliche unterrichtliche Behandlung der Lehrplaninhalte zu. Infolge der Vorkenntnisse der Schüler, die zu einem erheblichen Teil aus dem Stoffgebiet „Lichtwellen" der Klasse 10 stammen, ist in einigen Bereichen lediglich eine gründliche Festigung und Vertiefung erforderlich. Deshalb wird verstärkt der Einsatz von Schülervorträgen angeregt. Sie sollen die Fähigkeit der Schüler weiterentwickeln helfen, sich neues Wissen unter Verwendung von Literatur selbständig anzueignen. Der hohe Schwierigkeitsgrad der physikalischen Sachverhalte erfordert ein besonders überlegtes methodisches Vorgehen, zu dem im Folgenden Anregungen gegeben werden.
Im Physikunterricht der Klasse 11 schaffen die Stoffeinheiten „kinetisch-statistische Betrachtungen" und „Wellenoptik" weitere wichtige Voraussetzungen für die erfolgreiche Behandlung dieser Stoffeinheit. Die Untersuchung der Vorgänge bei der Absorption und Emission des Lichtes wirken sich vor allem auf den Staatsbürgerkundeunterricht der Klassen 11 und 12 förderlich aus.
Die Herausarbeitung und Untersuchung der Quanteneigenschaften des Lichtes läßt den Schülern die Vielfalt der Erscheinungsformen der Materie bewußt werden. Dabei festigt sich die Überzeugung, daß die physikalische Forschung immer tiefere Einsichten über die Naturvorgänge gewinnt und daß die neu entwickelten Theorien ältere als Spezialfall einschließen.
Das schrittweise Vordringen zum Wesen des Lichts ist für die Schüler mit der Überwindung vieler Schwierigkeiten verbunden. Es erfordert den bewußten Bruch mit gewohnten Denkformen. Damit liefert es einen wesentlichen Beitrag zur Vorbereitung der Schüler auf die selbständige Auseinandersetzung mit den Errungenschaften von Naturwissenschaften und Technik.
Im Mittelpunkt der ersten Unterrichtsstunden stehen die Untersuchung der Absorption des Lichtes beim äußeren lichtelektrischen Effekt und die sorgfältige Auswertung unter Berücksichtigung bereits bekannter Informationen über das Licht. Dabei zeigt sich, daß das Verhalten des Lichtes weder auf der Grundlage des Wellen- noch des Teilchenmodells vollständig beschrieben werden kann. Der von Einstein geschaffene Begriff „Lichtquant" hebt diesen Widerspruch in einer neuen Qualität auf. In den folgenden Stunden werden die gewonnenen Erkenntnisse durch die Untersuchung der Emissionsvorgänge bestätigt und erweitert.

Die Auswertung des Wasserstoffspektrums führt zum Energieniveauschema, das auf der Grundlage der Einsteinschen Erkenntnisse die quantitative Beschreibung der Emissions- und Absorptionsspektren ermöglicht. Wie bei der Untersuchung des lichtelektrischen Effektes ergeben sich weiterhin wichtige Informationen über den Bau der Stoffe.
In den darauffolgenden Stunden wird mittels des Elektronenstoßexperimentes von J. Franck und G. Hertz die Existenz diskreter Energiezustände des Atoms nicht nur auf ganz andere Art bestätigt; die Aufnahme bestimmter Beträge kinetischer Energie durch die Atome führt darüberhinaus zur nachfolgenden Emission von Licht der vorausberechneten Frequenz.
Ein weiterer Beleg für die Richtigkeit der Deutung der Untersuchungsergebnisse ist der Laser, der planmäßig auf der Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse geschaffen wurde. Er wird anschließend behandelt.
Die dargestellte Stoffanordnung entspricht der Anordnung im Lehrplan. Sie enthält wichtige Vorzüge, aber auch einen Mangel. Er besteht darin, daß die Existenz diskreter Energiezustände postuliert und dann zur Deutung der Spektren herangezogen wird. Die Vorkenntnisse der Schüler reichen an dieser Stelle nicht aus, um auf die Existenz diskreter Niveaus zu schließen. Deshalb liegt folgende Variante des unterrichtlichen Vorgehens nahe: Der Franck-Hertz-Versuch wird vor den Linienspektren behandelt. Vom Franck-Hertz-Versuch wird induktiv auf die Quantenzustände des Atoms geschlossen. Danach erfolgt die Behandlung der quantenhaften Emission von Licht, wobei nachgetragen wird, daß auch beim Elektronenstoßversuch von J. Franck und G. Hertz der Quecksilberdampf Licht der vorausberechneten Frequenz aussendet, wenn die kinetische Energie der Elektronen zur Stoßanregung ausreicht. Bei dieser Variante bleiben alle anderen Stoffabfolgen unverändert.

Stoffverteilungsplan

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
1. Der äußere lichtelektrische Effekt Licht als kompliziertes mikrophysikalisches Objekt Äußerer lichtelektrischer Effekt Abhängigkeiten des Fotostroms Notwendigkeit der quantitativen Untersuchung des lichtelektrischen Effekts	Äußerer lichtelektrischer Effekt, Wirkungsweise der Vakuum-Fotozelle, allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorganges (Ph 9)	LB S. 134 bis 136 FO: Interferenz des Lichtes DE: PSV 11, V 5.1.1; PSV 9, V 5.2.14 – UV-Strahler, Filtersatz, Demonstrationsstrommesser 1 μA SV: Äußerer lichtelektrischer Effekt SV: Aufbau und Wirkungsweise der Vakuumfotozelle SV: Modell des elektrischen Leitungsvorganges

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
2. Die kinetische Energie der Fotoelektronen Kinetische Energie der Fotoelektronen und ihre experimentelle Untersuchung Energieeinheit 1 eV Energie-Frequenz-Diagramm	Spannungsteilerschaltung (Ph 8) Allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorganges (Ph 9)	LB S. 136 bis 138 FO: Energie—Frequenz-Diagramm (zum Eintragen der Meßwerte) DE: PSV 11, V 5.2.2. — Metallinterferenzfiltersatz, empfindliches Galvanometer
3. Lichtquanten Quantitative Auswertung des Energie-Frequenz-Diagramms Austrittsarbeit Grenzfrequenz Energiebilanz Lichtquanten Deutung der Vorgänge beim äußeren lichtelektrischen Effekt	Nachweis der β-Strahlung mit dem β-γ-Zählrohr (Ph 10) Einheit der Gegensätze (Stb 11)	LB S. 138 bis 140 FO: Energie-Frequenz-Diagramm (aus der 2. Stunde) DE: Nachweis der Lichtquanten mit dem Zählrohr (PSV 11, V 9.2.1./2) — β-γ-Zählrohr mit abgelöster Lackschicht, UV-Strahler
4. Das Plancksche Wirkungsquantum Bedeutung Einsteinsche Gerade Experimentelle Bestimmung	Elementarladung (Ph 8) Vakuumlichtgeschwindigkeit (Ph 10)	LB S. 141 bis 142 DE: PSV 11, V 5.2.1. — Röhrenvoltmeter, Quecksilberspektrallampe mit Zubehör, Metallinterferenzfilter, zu 2 Hg-Linien passend
5. Wellen- und Teilchenvorstellungen vom Licht Leistungskontrolle Merkmale des klassischen Wellen- und Teilchenmodells und die mit diesem Modell unvereinbaren Ergebnisse beim äußeren lichtelektrischen Effekt	Aufbau der Stoffe aus Teilchen, Aufbau des Atoms (Ph 6) Elektronenbewegung (Ph 8) Ionenbeziehung, Atom- und Metallbindung (Ch 8) Elektrische Leitungsvorgänge (Ph 9) Mechanische Wellen (Ph 10)	LB S. 136, S. 142 bis 144 AB: Quantenhafte Absorption von Licht

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
6. Das Spektrum des Wasserstoffs Licht als Strahlung aus der Atomhülle Flammenfärbungen Kontinuierliche Spektren – Linienspektren Linienspektrum des Wasserstoffs Gesetzmäßige Anordnung der Linien	Licht als eine Strahlung aus der Atomhülle, Farbzerlegung des weißen Lichts bei der Brechung, Arten der Spektren, Prinzip der Spektralanalyse (Ph 10)	LB S. 145 bis 147 FO: Erzeugung eines Spektrums AT: Farbbilder oder Dias: Kontinuierliches Spektrum, Linien- und Bandenspektren DE: Flammenfärbung DE: PSV 11, V 4.1.2. – Schulgitter
7. Diskrete Energiezustände der Elektronenhülle Energieniveauschema des Wasserstoffs Emission und Absorption von Lichtquanten Berechnen von Wellenlänge und Frequenz mittels des Energieniveauschemas Linienspektren als Belege für diskrete Energiezustände	Aktivieren des Katalysators Chlorophyll durch Lichtenergie (Bio 9) Energieniveau der Elektronen der Atomhülle (Ch 9) Emission von Licht beim Übergang eines angeregten Atoms in einen energieärmeren Zustand (Ph 10)	LB S. 147 bis 149 FO: Erzeugung eines Spektrums (aus der 6. Stunde) AT, Farbbilder oder Dias (wie 6. Stunde) AT „Energiezustände des Wasserstoffatoms“ (Nr. 08901156)
8. Spektralanalyse Prinzip der Spektralanalyse, Wirkungsweise des Spektrometers Emissions- und Absoptionsspektren Anwendungen der Spektralanalyse	Emissions- und Absorptionsspektren, Prinzip der Spektralanalyse, Bedeutung der Spektralanalyse für Wissenschaft und Technik (Ph 10)	LB, S. 149 bis 150 FO oder AT: Prinzipieller Aufbau eines Spektrometers DE: Linienspektrum des Quecksilbers (PSV 11, V 4.2.2a) – Quecksilberspektrallampe mit Zubehör
9. Quantenhafte Anregung durch Strahlungsenergie, thermische innere Energie und kinetische Energie der Elektronen Elektronenstoßversuch Strom–Spannungs-Diagramm	Aktivieren des Katalysators Chlorophyll durch Lichtenergie bei der Fotosynthese (Bio 9) Leitung des elektrischen Stromes in Gasen, Röhrentriode (Ph 9)	LB, S. 150 bis 151 DE: Leuchterscheinungen in Gasentladungen DE: Franck-Hertz-Versuch (PSV 11, V 4.3.1.) – Edelgasgefülltes Thyrotron mit Fassung, Akkumulator 6 V oder Taschenlampenbatterie

Thema und Schwerpunkte der Stunde	Vorleistungen, Verbindungen zu anderen Fächern	Unterrichtsmittel, Experimente, Beziehungen zum Lehrbuch
10. **Elektronenstoß-experiment** Auswertung des Strom-Spannungs-Diagramms Lichtemission des angeregten Gases J. Franck und G. Hertz Historische Entwicklung der Vorstellungen vom Licht	Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes im Vakuum, Hertzsche Wellen, Historische Entwicklung der Vorstellungen vom Licht (Ph 10) Grundfrage der Philosophie und ihre wissenschaftliche Beantwortung (Stb 11)	LB, S. 152 bis 156 Bilder von J. Franck und G. Hertz Dokumente zur Forscherpersönlichkeit von J. Franck und G. Hertz SV 1 und 2; Würdigung der Forscherpersönlichkeiten von J. Franck und G. Hertz
11. **Der Laser** Spontane und induzierte Emission, Energieniveauschema, Aufbau und Wirkungsweise, Praktische Anwendung		LB, S. 145 bis 156 bis 159 FO: Spontane und induzierte Emission AT: Energieniveauschema des Lasers AT: Prinzipieller Aufbau des Lasers Dias oder Bilder
12. **Leistungskontrolle (Quantenhafte Emission und Absorption von Licht)**		AB: Quantenhafte Emision und Absorption
13. **Wellen- und Teilcheneigenschaften von Mikroobjekten** (I) Doppelspaltexperiment mit nacheinander geöffneten Spalten Doppelspaltexperiment bei extrem geringem Lichtstrom Teilchen- und Welleneigenschaften freier Elektronen	Beugung und Interferenz mechanischer Wellen Ladungstrennung Elektronenbewegung in Metallen Glühelektrischer und lichtelektrischer Effekt, Katodenstrahlen β-strahlen (Ph 6, 8, 9, 10) Quantenmechanisches Atommodell (Ch 11)	LB, S. 160 bis 162 FO: Aufbau eines Interferenzmusters bei extrem kleinem Lichtstrom Dias oder Bilder: Interferenzmuster von Licht und Elektronen (Doppelspalt, Kreuzgitter, Kristallgitter) DE: PSV 11, V 9.1.1 DE: PSV 11, V 9.1.2 – Wasserwellengerät mit Zubehör
14. **Wellen- und Teilcheneigenschaften von Mikroobjekten** (II) Wellen- und Teilcheneigenschaften bei allen Mikroobjekten Lichtmikroskop und Elektronenmikroskop	Elektrisches Feld, magnetisches Feld (Ph 9) Kernstrahlung, Röntgenstrahlen (Ph 10) Bestandteile des Atoms (Ch 8)	LB, S. 162 bis 163 AT: Bildentstehung im Mikroskop (Nr. 08905056) Dia oder FO: Aufbau des Elektronenmikroskops Dia: Photonen- und Neutronenbeugung Lichtmikroskop

1. Stunde: Der äußere lichtelektrische Effekt

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß kurzwelliges Licht aus Metalloberflächen Elektronen herauslösen kann (äußerer lichtelektrischer Effekt);
- wissen, daß die Stärke des Fotostromes von der Beleuchtungsstärke und von der Frequenz des Lichtes abhängt;
- erweitern ihre Fähigkeit, physikalische Prozesse zu beobachten und zu beschreiben und ihre wesentlichen Merkmale durch Verallgemeinern zu erfassen.

Den Schülern wird bewußt, daß das mikrophysikalische Objekt Licht eine komplizierte Struktur besitzt.

Unterrichtsmittel

FO: Interferenz des Lichtes (selbst hergestellt)
DE 1: PSV 11, V 5.1.1.
DE 2: Optikleuchte, Stromversorgungsgerät 0—400 V—, Filtersatz, Fotozelle, Schutzwiderstand ca. 50 MΩ,
Demonstrationsstrommesser 1 μA

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Historische Entwicklung der Vorstellungen vom Wesen des Lichts (E), Belege für den Wellencharakter des Lichts (W) äußerer lichtelektrischer Effekt **10 min**	Schildern der historischen Entwicklung (LV), Nennen und Erläutern der experimentellen Belege für den Wellencharakter des Lichts (FO/UG), Hinweisen auf Erscheinungen beim äußeren lichtelektrischen Effekt, die sich nicht mit dem Wellenmodell erklären lassen (LV, TB 177/1 a)
Das Licht ist ein kompliziertes mikrophysikalisches Objekt. Zum Erkennen seines Wesens genügt es nicht, nur die Interferenz zu untersuchen.	
(2) Langzeitmotivation, äußerer lichtelektrischer Effekt (W) Vakuumfotozelle (W) Allgemeines Modell der elektrischen Leitungsvorgänge (W) **15 min**	Motivieren der folgenden Untersuchungen, Vorführen und Erklären des äußeren lichtelektrischen Effektes (SV, DE 1) Aufbau und Wirkungsweise der Vakuumfotozelle (SV) Kennzeichnen des Modells des elektrischen Leitungsvorganges (SV) Zusammenfassen der für die folgenden Betrachtungen wichtigen Fakten (LV, TB 177/1 b)
Trifft Licht auf eine Metalloberfläche, so kann es Elektronen herauslösen. Die Vakuumfotozelle ermöglicht eine genaue Untersuchung des äußeren lichtelektrischen Effektes.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Experimentelle Untersuchung des Fotostroms (E) Abhängigkeit von der Intensität und der Frequenz (qualitativ) (E) **15 min**	Herausarbeiten der Notwendigkeit, Einfluß der Frequenz und der Beleuchtungsstärke auf den Fotostrom experimentell zu untersuchen (LV) Planen des Versuchsaufbaus und der Versuchsdurchführung (SSA) Durchführung der Experimente (DE 2) Formulieren der Versuchsergebnisse (SSA, TB 177/1c)
Der Fotostrom nimmt mit der Intensität des eingestrahlten Lichts zu. Nur bei Bestrahlung mit kurzwelligem Licht tritt ein Fotostrom auf. Langwelliges Licht bewirkt selbst bei noch so großer Beleuchtungsstärke keinen Strom.	
(4) Auswertung der Experimente (E) **5 min**	Deutung der experimentellen Ergebnisse, Vorbereiten der HA, kurzes Umreißen der folgenden Untersuchungen (LV, HA)
Das Licht ist ein kompliziertes mikrophysikalisches Objekt. Zur Aufklärung des Wesens des Lichts ist die quantitative Untersuchung der Vorgänge beim äußeren lichtelektrischen Effekt erforderlich.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Aus dem ersten Stundenteil folgt unmittelbar die Langzeitmotivation: Notwendigkeit der systematischen Untersuchung bestimmter optischer Erscheinungen, um das Wesen des Lichts zu erkennen. Hieraus wird die Motivation für die folgenden Unterrichtsstunden abgeleitet, die Notwendigkeit der Untersuchung des äußeren lichtelektrischen Effektes. Als leicht handhabbare Quelle ultravioletten Lichtes ist besonders der handelsübliche Strahler UV de Luxe vom VEB NARVA geeignet, der, in eine Normalfassung geschraubt, direkt an das 220 V-Wechselspannungsnetz angeschlossen werden kann.

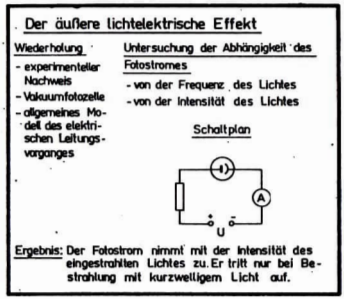
(3) Ein weiterer Höhepunkt der Unterrichtsstunde sind erste (qualitative) experimentelle Untersuchungen des Fotostromes. Die aktive Mitarbeit der Schüler bei der Planung der Experimente soll ihnen Anliegen, Prinzip und Bedeutung der Experimente nahebringen und Voraussetzungen für die Untersuchungen und Betrachtungen der folgenden Unterrichtsstunden schaffen. Die Durchführung der Experimente erfolgt auf der Grundlage des Schaltplans in Bild 177/2 analog der Darstellung im LB, Bild 137/2. Weitere experimentelle Hinweise findet man in PSV 9, V 5.2.14. Die Spannung sollte bei 100 V liegen.

(4) Diese einfachen Experimente sollen die Schüler zur Einsicht führen, daß das Wellenmodell keine vollständige Beschreibung des Lichts ermöglicht. Es ist anzustreben, eine erste Auswertung und Deutung der Versuchsergebnisse als Vorbereitung der Hausaufgabe bereits im Unterricht vorzunehmen. Hauptinhalt ist die Deutung der experimentellen Ergebnisse auf der Grundlage des Wellen- und Teilchenmodells (HA, LB S. 137, Aufg. 1). Zur Festigung der Kenntnisse aus Kl. 9 sollten weiterhin einige der Aufgaben 1 bis 5 S. 135 gestellt werden. Je nach Anlage der folgenden Unterrichtsstunde ist das Verfahren der Energiemessung an Fotoelektronen ggf. bereits als HA zu stellen.
Eine anspruchsvollere Variante des Stundenaufbaus besteht darin, die Wiederholung

des äußeren lichtelektrischen Effektes unmittelbar an den Anfang zu stellen und die experimentellen Untersuchungen anzuschließen, so daß die Schüler beim Deutungsversuch auf der Grundlage des Wellenmodells selbst auf die Schwierigkeiten stoßen. Die Aufgaben 2 bis 4 können schon als Vorbereitung auf die Unterrichtsstunde gestellt werden.

Tafelbild

Bild 177/1



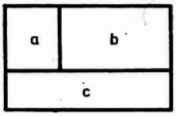
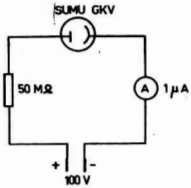


Bild 177/2



Messung des Fotostromes

2. Stunde: Die kinetische Energie der Fotoelektronen

Stundenziele

Die Schüler

- können das experimentelle Vorgehen bei der Bestimmung der kinetischen Energie der Fotoelektronen beschreiben und erklären;
- kennen die Energieeinheit 1 eV und können sie richtig anwenden;
- wissen, daß die kinetische Energie der Fotoelektronen nicht von der Beleuchtungsstärke, sondern
  von der Frequenz des Lichtes abhängt.

Unterrichtsmittel

FO: Energie-Frequenz-Diagramm (zum Eintragen der Meßwerte, selbst gefertigt)
DE: PSV 11, V. 5.2.2.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) äußerer lichtelektrischer Effekt und Wesen des Lichts (W, LK, K der HA) Kinetische Energie der Fotoelektronen Energieeinheit 1 eV (E) **15 min**	Zusammenfassen der wichtigen Ergebnisse der vorangegangenen Stunde, Orientieren auf die nachfolgenden Untersuchungen Darstellen des Prinzips der Gegenfeldmethode (LV) Beschreiben und Erklären der Energiemessung am Schaltplan (SSA), Bekanntmachen mit der Energieeinheit, Angeben der Umrechnungsbeziehung (LV, TB 180/1a)
Mit der Gegenfeldmethode ist es möglich, die kinetische Energie der Fotoelektronen zu bestimmen.	
(2) Unabhängigkeit der kinetischen Energie von der Beleuchtungsstärke (E) **10 min**	Vertrautmachen der Schüler mit dem Versuchsaufbau (LV), Planen der Versuchsdurchführung (SSA), Durchführen des Experiments (DE), Gewinnen der Meßwerte, Auswerten (SSA, TB 180/1b)
Die kinetische Energie der Fotoelektronen ist unabhängig von der Beleuchtungsstärke. Mit der Beleuchtungsstärke nimmt lediglich die Anzahl der je Zeiteinheit ausgelösten Elektronen zu.	
(3) Abhängigkeit der kinetischen Energie von der Frequenz (E) **15 min**	Planen der Versuchsdurchführung (SSA), Durchführen des Experiments (DE), Gewinnen der Meßwerte und tabellarisches Erfassen (SSA, TB 180/1c) Anleiten zur Auswertung (LV) Grafisches Darstellen der Meßwerte, erste Auswertung der Experimente (SSA, FO) Verweisen auf den großen Informationsgehalt der experimentellen Ergebnisse (LV, FO)
Die kinetische Energie der Fotoelektronen wächst linear mit der Frequenz des eingestrahlten Lichts.	
(4) Untersuchungsergebnisse (Z, W) **5 min**	Zusammenfassen der Untersuchungsergebnisse, ausgehend von den Zielen (SSA, HA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Ausgangspunkt ist die Orientierung auf die Langzeitmotivation. Die Antworten mehrerer Schüler zu den Hausaufgaben werden gegebenfalls zur Diskussion gestellt. Die Notwendigkeit, quantitative Untersuchungen durchzuführen, führt zum Pro-

blem der Energiemessung an Fotoelektronen, das im Mittelpunkt der Unterrichtsstunde steht. Hierzu kann bereits durch eine vorbereitende HA (Aufg. 2 und 3, S. 137 im LB) ein Beitrag geleistet werden, die auch auf die Wiederholung der Kenntnisse bzgl. der Spannungsteilerschaltung orientiert. Die Schüler werden angehalten, über Lösungsmöglichkeiten nachzudenken. Die Vorschläge werden diskutiert.
Das LB bietet eine gute Grundlage für die Behandlung der Gegenfeldmethode und der Einheit 1 eV, auf die im Unterricht bzw. in der häuslichen Arbeit der Schüler zurückgegriffen werden kann.

(2) Die Änderung der Beleuchtungsstärke erfolgt durch Verändern des Abstandes zwischen Lichtquelle und Fotozelle. Gegenüber der ebenfalls möglichen Änderung der Helligkeit der Glühlampe durch Variieren der Spannung, hat dieses Verfahren den Vorteil, daß sich die spektrale Zusammensetzung des Lichts nicht ändert.

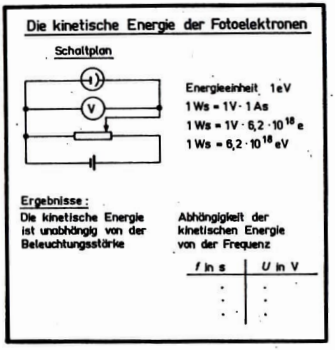
(3) Die Versuchsanordnung wird bereits vor der Unterrichtsstunde zusammengestellt, die Durchführung erfolgt gemäß PSV 11, V 5.2.2. Zur Bereitstellung hinreichend monochromatischen Lichts sei auf folgende Möglichkeiten verwiesen:

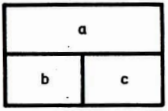
- durch Erzeugen des Spektrums der Quecksilberdampflampe;
- Verwendung einer Quecksilberdampflampe mit angepaßten Monochromatfiltern;
- Verwendung einer optischen Leuchte mit Monochromatfiltern;
- durch Erzeugen des Spektrums einer Glühlampe und Abschätzen des jeweiligen Spektralbereichs über die Lichtfarbe.

Die Schüler fertigen die grafische Darstellung im Heft an, der Lehrer trägt die Wertepaare in die vorbereitete Folie ein, auf die er in den nachfolgenden Stunden wiederholt zurückgreifen wird.
Bei nicht ausreichender Zeit kann die Anfertigung der grafischen Darstellung als HA erfolgen.

(4) Die HA umfaßt die intensive Beschäftigung mit den durchgeführten Experimenten und ihren Ergebnissen und deren Deutung auf der Grundlage des Wellen- und Teilchenmodells. Dazu können die Aufgaben 2 und 3 (LB, S. 137), 1 und 2 (LB, S. 139) herangezogen werden.
Die praktische Durchführung des Experiments als Demonstrationsversuch bereitet sowohl bezüglich des Versuchsaufbaus als auch der Geräteanforderungen (empfindliches Galvanometer) oft Schwierigkeiten. Eine wesentliche Vereinfachung stellt das in PSV 11, V 5.2.1. beschriebene Kondensatorverfahren dar. Sein unterrichtlicher Einsatz erfordert vor allem bezüglich Planung und Versuchsaufbau weniger Zeit.
Es liegt deshalb folgende Variante des beschriebenen Stundenablaufs nahe: Nach der Besprechung der Gegenfeldmethode in Anlehnung an das LB werden der vorbereitete Versuchsaufbau und das Meßprinzip erläutert und als für die Schule besser durchführbar gekennzeichnet. Der weitere Stundenablauf bleibt unverändert.
Eine Zeiteinsparung läßt sich dadurch erreichen, daß die Gegenfeldmethode in dieser Stunde gar nicht besprochen wird, sondern von den Schülern in der Phase der häuslichen Arbeit durchdacht wird. Dann ist ihr in der folgenden Stunde im Rahmen der Wiederholung ein breiterer Raum beizumessen.

Tafelbild
Bild 180/1





3. Stunde: Lichtquanten

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß die Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt mit den Messungen übereinstimmt, wenn man eine Absorption des Lichts in Quanten mit der Energie $E = h \cdot f$ zugrunde legt;
- kennen die Begriffe Austrittsarbeit und Grenzfrequenz und können sie erläutern;
- kennen den Begriff „Photon", die experimentellen Ergebnisse, die zu seiner Schaffung führten, seinen Inhalt und seine Bedeutung.

Unterrichtsmittel

FO: Energie-Frequenz-Diagramm (in der 2. Stunde entwickelt)
DE: Polydigit I, Zählrohradapter, Zählrohr VA-Z-118 UV-Strahler

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Weitere qualitative Auswertung der experimentellen Untersuchungen, Versuch der Deutung (W, Fst, K der HA Ergänzung) **10 min**	Berichten über experimentelle Untersuchungen, Diskutieren der Ergebnisse, Präzisieren der Aussagen über die Beziehungen zwischen dem Licht und den Fotoelektronen, Versuch der Deutung der experimentellen Ergebnisse auf der Grundlage des Wellen- und Teilchenmodells (SSA, UG)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Die Beleuchtungsstärke beeinflußt die Anzahl der je Zeiteinheit ausgelösten Fotoelektronen, aber nicht ihre Energie. Die Energie der Fotoelektronen ist nur von der Frequenz abhängig und nimmt linear mit der Frequenz des eingestrahlten Lichtes zu. Weder das Wellen- noch das Teilchenmodell allein sind geeignet, um die vielfältigen Erscheinungen des Lichts vollständig zu beschreiben.	
(2) Quantitative Auswertung der experimentellen Untersuchungen (E) $E_{kin} = h \cdot f - W_A$ Austrittsarbeit Grenzfrequenz Energiebilanz **15 min**	Formale Einführung von Größen (W_A, f_G und h) in die grafische Darstellung der experimentellen Ergebnisse (LV) Aufstellen der Gleichung für die experimentell gewonnene Gerade im E_{kin}–f-Diagramm (SSA) Deuten der zunächst formal eingeführten Größen, Hinweise auf die physikalische Bedeutung von h, Charakterisieren der Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt (LV). Erläutern der Energiebilanz (SSA), Zusammenfassung der Ergebnisse der Auswertung (LV, TB 182/1 a, b,)
Zum Herauslösen eines Elektrons aus dem Metall ist eine bestimmte Arbeit, die Austrittsarbeit, erforderlich. Die Energie des eingestrahlten Lichts führt zum einen Teil zum Herauslösen des Elektrons aus dem Metall, zum anderen zu seiner Beschleunigung.	
(3) Lichtquanten, Energie der Lichtquanten (E) Plancksches Wirkungsquantum Deutung der Vorgänge beim äußeren lichtelektrischen Effekt (E) **20 min**	Charakterisieren der Lichtquanten als kleinste Bestandteile des Lichts, Angeben der Energie der Lichtquanten Formales Einführen des Wirkungsquantums (LV) Erklärung der Vorgänge beim äußeren lichtelektrischen Effekt nach Einstein, Einführen der Begriffe „Einsteinsche Gleichung“ und „Einsteinsche Gerade“ (LV) Diskutieren der Darlegungen über die Lichtquanten, Vergleichen der Ergebnisse mit dem Ziel der weiteren Vertiefung der Vorstellung vom Wesen des Lichts (UG), Experimenteller Nachweis der Lichtquanten (DE) Zusammenfassen der Ergebnisse (SSA, HA, TB 182/2 c, d, e)
Das Licht besteht aus einzelnen, nicht weiter zerlegbaren „Energieportionen“, den Lichtquanten oder „Photonen“. Jedes Photon besitzt die Energie $E = h \cdot f$. Beim äußeren lichtelektrischen Effekt tritt jeweils ein Photon nur mit einem Elektron des Katodenmaterials in Wechselwirkung. Dabei überträgt es seine gesamte Energie auf das Elektron.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Im Mittelpunkt einer Wiederholung stehen der lichtelektrische Effekt, die durchgeführten Experimente und ihre Ergebnisse. Dabei und in Ergänzung dazu werden die Auswertung der Ergebnisse bezüglich der Beziehungen zwischen Licht und Fotoelektronen sowie die Deutungsversuche auf der Grundlage des Wellen- und Teilchenmodells fortgesetzt und wichtige Ergebnisse bewußtgemacht.

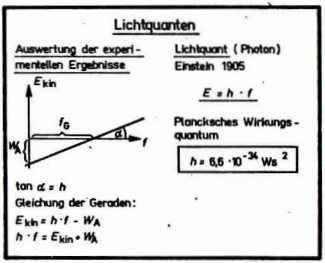
(2) Als Teilziel wird die weitere quantitative Auswertung der experimentell gewonnenen Ergebnisse formuliert. Die Bemühungen in (1) sowie im einführenden Lehrervortrag in (2) müssen darauf gerichtet sein, die Schüler zu befähigen, die grafische Darstellung der Einsteinschen Gleichung auszuwerten und die Energiebilanz aufzustellen. Für die intensive Schülertätigkeit beim Lösen dieser Aufgaben und dem

Erfassen der wichtigen Beziehungen muß ausreichend Zeit eingeplant werden. Die Schüler sollen erkennen, daß die Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt mit den Messungen übereinstimmt, wenn eine Absorption des Lichts in Quanten der Energie $E = h \cdot f$ zugrunde gelegt wird.

(3) Das Plancksche Wirkungsquantum wird nur genannt und auf die folgende Unterrichtsstunde verwiesen. Die quantenhafte Absorption des Lichts läßt sich überzeugend mit einem β-γ-Zählrohr demonstrieren (siehe PSV 11, V 9.2.1./2). Man entfernt die schwarze Lack-Schutzschicht des Zählrohrs mit Azeton. An den Zählrohradapter angeschlossen, wird die Betriebsspannung eingestellt. Als Quelle ultravioletten Lichts dient der Strahler UV de Luxe (Bild 183/1). In einem Abstand von etwa 50 cm vom Zählrohr treten beim Erreichen der Betriebstemperatur des Strahlers in unregelmäßiger Folge Knackgeräusche auf, die weit über dem (durch radioaktive Strahlen verursachten) Nulleffekt liegen. Die Impulsdichte nimmt beim weiteren Annähern stark zu. Da das Zählrohr nicht für diesen Zweck hergestellt wird, treten von Exemplar zu Exemplar Schwankungen bezüglich der Nachweiswahrscheinlichkeit für UV-Quanten auf.
Besonders wertvoll ist das in PSV 11, V 9.3.1./2 beschriebene Experiment. Es macht den engen Zusammenhang zwischen Wellen- und Teilchenaspekt des Lichts deutlich.
Falls die Zeit in dieser Unterrichtsstunde nicht ausreicht, kann das Experiment im Rahmen der Wiederholung in der folgenden Unterrichtsstunde Einsatz finden.
Hausaufgaben: Die Schüler wiederholen die Auswertung der grafischen Darstellung, die Energiebilanz und die Ausführungen zu den Lichtquanten, alle 3 möglichen Fälle (LB, S. 140). Schülervorträge für 4. Stunde: Lichtquanten; Erklärung der Vorgänge beim äußeren lichtelektrischen Effekt mittels der Lichtquanten; Interpretation der Einsteinschen Geraden.

Tafelbild

Bild 182/1



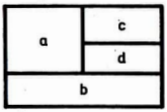
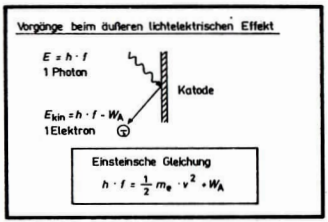


Bild 182/2



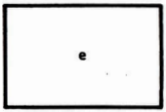
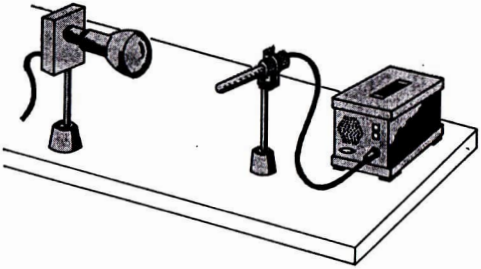


Bild 183/1



4. Stunde: Das Plancksche Wirkungsquantum

Stundenziele

Die Schüler

- können die grafische Darstellung der kinetischen Energie der Fotoelektronen in Abhängigkeit von der Frequenz des Lichts umfassend interpretieren;
- kennen die Sonderfälle der Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt und können sie diskutieren;
- kennen das Plancksche Wirkungsquantum und seine Bedeutung und können es aus der grafischen Darstellung bestimmen.

Unterrichtsmittel

DE: PSV 11, V 5.2.1.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Vorgänge beim äußeren lichtelektrischen Effekt (W, Z, K der HA) 20 min	Erklären der Vorgänge beim äußeren lichtelektrischen Effekt nach Einstein Zusammenfassendes Interpretieren aller wichtigen Informationen, die die grafische Darstellung der kinetischen Energie der Fotoelektronen als Funktion der Frequenz enthält (SV 1 bis 3 mit anschließender Diskussion), Diskutieren der Sonderfälle der Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt (SSA, TB 184/1 a)
(2) Das Plancksche Wirkungsquantum (E) Bestimmung des	Einführen des Planckschen Wirkungsquantums, Charakterisieren seiner Bedeutung (LV, HA) Bestimmen des Planckschen Wirkungsquantums aus

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Planckschen Wirkungsquantums aus der Einsteinschen Geraden Informationsgehalt der experimentellen Ergebnisse **15 min**	der in der 3. Stunde gewonnenen grafischen Darstellung (SSA) Charakterisieren des hohen Informationsgehaltes der experimentellen Untersuchung der Abhängigkeit der kinetischen Energie der Fotoelektronen von der Frequenz des eingestrahlten Lichts (LV, TB 184/1.b).
Das Plancksche Wirkungsquantum ist eine für die Mikrophysik bedeutsame Konstante. Sie ist gleich dem Anstieg der Geraden im Energie-Frequenz-Diagramm. Dieses Diagramm enthält weitere wichtige Informationen.	
(3) Experimentelle Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums (E) **10 min**	Erarbeiten der Möglichkeit, das Plancksche Wirkungsquantum durch Messung der kinetischen Energie für 2 verschiedene Lichtfrequenzen zu ermitteln (SSA), Experimentelle Bestimmung der kinetischen Energie der Fotoelektronen mit 2 verschiedenen Frequenzen (DE, HA. TB 185/1 c)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

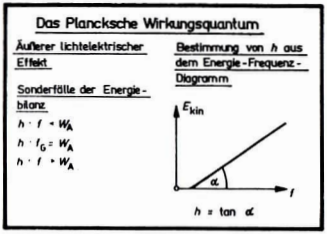
(1) Die Wiederholung dient der Festigung und Vertiefung sowie der Vorbereitung der schriftlichen Leistungskontrolle in der folgenden Stunde. Hausaufgabenstellung und Schüleraufträge sollen starke Aktivitäten der Schüler garantieren.

(2) Im Zusammenhang mit dem Planckschen Wirkungsquantum wird auf weitere wichtige Konstanten verwiesen und Aufgabe (4) (LB, S. 139) als HA gestellt. Nach dem Bewußtmachen des hohen Informationsgehaltes der experimentellen Ergebnisse weist der Lehrer darauf hin, daß noch weitere Experimente die gewonnenen Erkenntnisse belegen. In wenigen Unterrichtsstunden werden die Untersuchungen durch Betrachtung der Emissionsprozesse und der quantenhaften Energieaustauschprozesse in der Elektronenhülle von Atomen in Gasen fortgesetzt (Linienspektren, Franck-Hertz-Versuch). Diese Untersuchungen dienen der Bestätigung, Vertiefung und Erweiterung der im Zusammenhang mit dem äußeren lichtelektrischen Effekt gewonnenen Erkenntnisse.

(3) Die Schüler machen sich selbständig (LB, S. 141/142) mit der Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums, ausgehend von 2 Meßwertepaaren, vertraut. Zur einfachen Ermittlung der kinetischen Energie der Fotoelektronen dient das auf S. 179 beschriebene Kondensatorverfahren. Für die Bereitstellung zweier Frequen-

Tafelbild

Bild 184/1



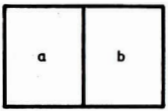
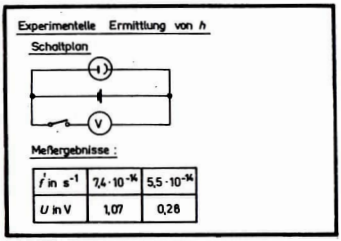
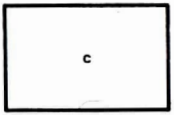


Bild 185/1





zen kann eine der auf S. 179 angegebenen Möglichkeiten Verwendung finden. Die Schüler berechnen zu Hause das Plancksche Wirkungsquantum. Als Grundlagen können die Betrachtungen im LB auf S. 141 und das Beispiel auf S. 142 herangezogen werden. Weiterhin lösen die Schüler die Aufgaben 1 bis 3 (S. 141), 1 (S. 143) und 2 (S. 169) zur folgenden Unterrichtsstunde.

5. Stunde: Wellen- und Teilchenvorstellungen vom Licht

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen, daß die quantenhafte Lichtabsorption und die Existenz einer Grenzfrequenz beim äußeren lichtelektrischen Effekt im Widerspruch zum Wellenmodell in der Makrophysik stehen;
- erkennen, daß die Beziehung $E = h \cdot f$ sowohl mit den Teilchen- wie mit den Wellenvorstellungen unvereinbar ist;
- werden in ihrer Einsicht gestärkt, daß die Anwendbarkeit klassisch-mechanischer Modelle auf mikrophysikalische Objekte nur begrenzt möglich ist.

Unterrichtsmittel

AB: Quantenhafte Absorption von Licht

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Quantenhafte Absorption von Licht (Fst, W, U, K) **25 min**	Lösen der Aufgaben (AB, SSA)
(2) Mit dem Wellen- bzw. Teilchenmodell der Makrophysik	Charakterisieren der Einsteinschen Erkenntnisse als Ergebnis der Bemühungen um die Aufklärung des Wesens des Lichts,

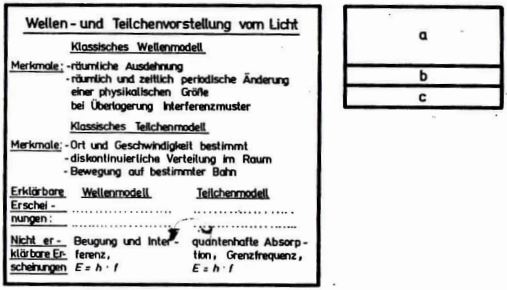
Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
unvereinbare Ergebnisse bei der Untersuchung des lichtelektrischen Effekts (E) 20 min	charakteristische Merkmale des Wellen- und Teilchenmodells, Hinweis auf die prinzipiellen Grenzen der Anwendbarkeit klassisch-mechanischer Modelle auf mikrophysikalische Objekte, Verdeutlichen der Unvereinbarkeit bestimmter beobachteter Effekte mit dem Wellen- bzw. Teilchenmodell (LV), Interpretieren der quantenhaften Lichtabsorption und der Existenz einer Grenzfrequenz als Widerspruch zum Wellenmodell aus der Makrophysik (SSA), Darstellen der Unvereinbarkeit der Beziehung $E = h \cdot f$ mit den Wellen- und Teilchenvorstellungen, Würdigung der Synthese Einsteins (LV, HA, TB 186/Ia, b, c)
Nur bestimmte Erscheinungen lassen sich mit Hilfe des makrophysikalischen Teilchen- bzw. Wellenmodells erklären. Quantenhafte Lichtabsorption und Grenzfrequenz beim äußeren lichtelektrischen Effekt stehen im Widerspruch zum Wellenmodell; die Beziehung $E = h \cdot f$ steht im Widerspruch zum Wellen- und Teilchenmodell.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(2) Die wesentlichen Merkmale des klassischen Wellen- und des klassischen Teilchenmodells werden kurz dargestellt (LB, S. 136). Die Schüler nennen Beispiele für auf ihrer Grundlage erklärbare bzw. nicht erklärbare Vorgänge, erläutern und diskutieren sie. Auf die Unvereinbarkeit der Beziehung $E = h \cdot f$ mit beiden Modellen wird in einem kurzen Lehrervortrag eingegangen, an den sich eine Diskussion mit den Schülern anschließt. Die HA besteht in der Lösung der Aufgabe 1 (LB, S. 169) als Beispiel zum lichtelektrischen Effekt, im Durcharbeiten der Merkmale des makrophysikalischen Wellen- und Teilchenmodells (LB, S. 136) und der Zusammenfassung (LB, S. 143/144).

Tafelbild

Bild 186/1



6. Stunde: Das Spektrum des Wasserstoffs

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß Atome bzw. Moleküle unter bestimmten Bedingungen Licht aussenden;
- wissen, daß das von Atomen bzw. Molekülen ausgesandte Licht für die jeweilige Atom- bzw. Molekülart charakteristisch ist;
- kennen das Spektrum des atomaren Wasserstoffs und wissen, daß die Linien gesetzmäßig angeordnet sind;
- wissen, daß die Elektronenhülle der Entstehungsbereich der Lichtquanten ist.

Unterrichtsmittel

FO: Skizze der Versuchsanordnung zur Erzeugung eines Spektrums mit farbigem Strahlenverlauf (selbst hergestellt)
AT: Farbbilder oder Dias: kontinuierliche Spektren, Linien- und Bandenspektren
DE 1: Bunsenbrenner mit Schlauch, Magnesiastäbchen, verschiedene Metallsalze (z. B. Natrium-, Barium- und Strontiumsalz), kleines Becherglas mit etwas verdünnter Salzsäure
DE 2: PSV 11, V. 4.1.2.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Arten der Strahlung, die vom Atom ausgestrahlt werden können: Kernstrahlung, Röntgenstrahlung, ultraviolettes, sichtbares und infrarotes Licht Licht als Strahlung aus der Atomhülle (E) **10 min**	Einstimmen der Schüler und Zielorientieren, Nennen der wichtigsten Strahlungsarten, die vom Atom ausgesandt werden, Charakterisieren der Entstehung und Nennen markanter Erscheinungen (UG, SSA) Herausarbeiten des Entstehungsbereiches des Lichts, Angeben experimenteller Belege (UG, TB 189/1a)
Atome und Moleküle vermögen unter bestimmten Bedingungen Licht auszusenden. Dieses Licht entsteht in der äußeren Atomhülle.	
(2) Flammenfärbungen, kontinuierliches Spektrum, Linienspektrum, Merkmale, Beispiele (E) Linienspektrum des Wasserstoffs (E) **20 min**	Abhängigkeit des ausgestrahlten Lichts von der Art der Atome (DE), Charakterisieren der Merkmale des kontinuierlichen Spektrums und des Linienspektrums (W aus Kl. 10, UG), Zeigen von kontinuierlichen und Linienspektren, Diskutieren der Abbildungen (UG) Darstellen des Prinzips der Versuchsanordnung zur Erzeugung eines Spektrums (FO) Erläuterung des Versuchsaufbaus zur Erzeugung des Wasserstoffspektrums (LV, DE), Qualitative Auswertung (UG, TB 189/1b)
Jede Atom- bzw. Molekülart sendet charakteristisches Licht aus.	

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(3) Regelmäßige Anordnung der Linien im Spektrum des Wasserstoffs (E) **10 min**	Vermuten einer gesetzmäßigen Anordnung der Linien, Wiederholen des Experiments und Ermitteln der Frequenz der Wasserstofflinien (DE), Überprüfen der gesetzmäßigen Anordnung der Linien durch Lösen der Aufgabe 6 (LB, S. 147 als HA, TB 189/1 c)
Die Spektrallinien des Wasserstoffs sind gesetzmäßig angeordnet.	
(4) Rückgabe der Arbeitsblätter, K der HA (W) **5 min**	Überblick über Leistungsstand, Orientieren auf wesentliche Fehler (LV)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Ausgehend von der in der 1. Unterrichtsstunde herausgearbeiteten Langzeitmotivation (Aufklärung des Wesens des Lichts) wird auf die Notwendigkeit der Untersuchung der Emissionsvorgänge, die den Schülern schon bekannt sind, hingewiesen. Es sollte erwähnt werden, daß diese Untersuchungen zu wichtigen praktischen Anwendungen (Laser) führen. Erörterung des Einführungsabschnittes (LB, S. 145).

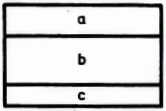
(2) Zur Durchführung der ersten Experimente wird jeweils ein Magnesiastäbchen kurz in die Salzsäure und nachfolgend in das Metallsalz getaucht und schließlich in die Flamme gebracht. Nitrate werden bevorzugt, Chloride eignen sich weniger gut. Die Folie, die den den Schülern bekannten Strahlengang enthält, sollte je nach der verwendeten experimentellen Anordnung als dispergierendes Glied entweder ein einfaches Prisma, ein Geradsichtprisma oder ein Reflexionsgitter enthalten. Anregungen für die Gestaltung der Folie findet man in PSV 7, V 4.1.1. und in der Stoffeinheit Welleneigenschaften des Lichtes oder in PSV 11, V 4.1.1. bzw. 4.1.2. Möglichkeiten der objektiven Demonstration von Linienspektren sind in PSV 11, V 4.1.1. bis 4.2.3. beschrieben. Sie sind subjektiven Beobachtungen (z. B. Hindurchblicken durch ein Geradsichtprisma auf die Spektralröhre) in jedem Falle vorzuziehen. Es sollten möglichst weitere der dort beschriebenen Möglichkeiten zur Demonstration von Linienspektren genutzt werden, so daß auf das Bereitstellen von Farbdias verzichtet werden kann. Bei der Demonstration des Wasserstoffspektrums ist zu beachten, daß der geringe Lichtstrom der wasserstoffgefüllten Spektralröhre eine gute Abdunkelung des Raumes und die Beachtung weiterer Maßnahmen (PSV 11, V 4.1.1. bis 4.1.2.) erfordert. Der Versuchsaufbau muß gewährleisten, daß eine versehentliche Berührung der unter Hochspannung stehenden Leitungen unmöglich ist.

(3) Zur quantitativen Auswertung des Experiments kann die Wellenlänge aus den gewählten bzw. gemessenen Abständen in Anlehnung an die Ergebnisse der 6. Stunde (Stoffeinheit Welleneigenschaften des Lichts) entsprechend den Darlegungen in PSV 11, V 4.1.2. erfolgen. Es ist jedoch auch eine Eichung (LB, S. 146) möglich, die der Lehrer ggf. schon vor der Unterrichtsstunde vornehmen kann. Bei zeitlicher Beschränkung ist der letzte Weg vorzuziehen. Sollte eine quantitative Auswertung nicht erfolgen können, so sind für die HA die Ergebnisse im Lehrbuch zugrunde zu legen.

(4) Um nicht auf alle Fehler eingehen zu müssen, wird ein vollständig ausgefülltes Arbeitsblatt zur Vergleichsmöglichkeit ausgehängt.
Schülervorträge für 11. Stunde:
— Verwendung der Laserstrahlung bei der Längen- und Entfernungsmessung;
— Verwendung der Laserstrahlung zur Nachrichtenübertragung;
— Erzeugung hoher Temperaturen mittels Laserstrahlung und ihre Anwendung in der Materialbearbeitung, Spektroskopie und bei Experimenten zur friedlichen Nutzung der Kernfusion.

Tafelbild

Bild 189/1



7. Stunde: Diskrete Energiezustände der Elektronenhülle

Stundenziele

Die Schüler

— wissen, daß in der Elektronenhülle diskrete Energiezustände existieren (Grundzustand, angeregte Zustände);
— wissen, daß die Energieaufnahme bzw. -abgabe nur in Form diskreter Energiebeträge erfolgt;
— können die Emission von Photonen am Beispiel des Wasserstoffs mit Hilfe des Energieniveauschemas erläutern;
— können Wellenlänge und Frequenz einzelner Spektrallinien bei vorgegebenem Energieniveauschema berechnen;
— werten die Linienspektren als wesentliche Belege für die Existenz diskreter Energiezustände.

Unterrichtsmittel

FO: Skizze der Versuchsanordnung zur Erzeugung eines Spektrums mit farbigem Strahlenverlauf (wie in der 6. Stunde)
AT: Farbbilder oder Dias: kontinuierliches Spektrum, Linien- und Bandenspektren (wie in der 6. Unterrichtsstunde)
AT: Energiezustände des Wasserstoffatoms

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Das Spektrum des Wasserstoffs (W, K der HA) **10 min**	Beschreiben des Entstehungsbereichs der Lichtquanten, der kontinuierlichen Spektren und der Linienspektren, der experimentellen Anordnung zur Demonstration des Linienspektrums von Wasserstoff (UG)
(2) Das Energieniveauschema des Wasserstoffs (E) Emission und Absorption von Lichtquanten (E) **20 min**	Durcharbeiten des Lehrbuchabschnittes zum Energieniveauschema (1) und zu den Übergängen vom und zum Grundzustand (2), Vorbereiten von Kurzreferaten zu (1) und (2), Schülervorträge (SSA) Weitere Übergänge zwischen den Energieniveaus (UG, HA, TB 191/1a)
Das Atom kann sich nur in bestimmten Energiezuständen befinden (Grundzustand, angeregte Zustände). Deshalb erfolgt die Energieaufnahme und -abgabe nur in Form diskreter Energiebeträge, $\Delta E = h \cdot f$	
(3) Berechnen der Wellenlänge und Frequenz mittels des Energieniveauschemas (A) Linienspektren als Beleg für diskrete Energiezustände (E) **15 min**	Lösen der Aufgabe 4 (LB, S. 117), Erläutern der Ergebnisse am Energieniveauschema (SSA) Gesamtzusammenfassung (SSA, HA) Werten der Linienspektren als wesentliche Belege für die Existenz diskreter Energiezustände (LV, TB 191/2b)
Die Linienspektren belegen die Existenz diskreter Energiezustände des Atoms. Das Energieniveauschema gestattet die Berechnung der auftretenden Lichtfrequenzen.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

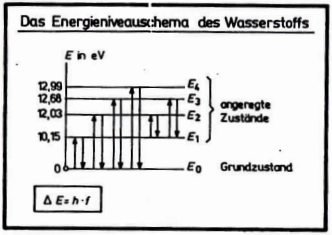
(2) Das selbständige Durcharbeiten des relativ umfangreichen Lehrbuchabschnittes stellt hohe Anforderungen an die Schüler und muß in der Zeitplanung entsprechend berücksichtigt werden. Jeder Schüler sollte sich nur auf einen der beiden Vorträge vorbereiten (Vorgabe durch den Lehrer). Während der selbständigen Arbeit der Schüler skizziert der Lehrer als Grundlage für die Vorträge das Energieniveauschema (LB, Bild 148/1) an die Tafel.
Eine mögliche Variante besteht in der Verlegung dieser Aufgabe in die häusliche Arbeit zu dieser Stunde. Sie schafft mehr Zeit für das unter (3) beschriebene Vorhaben. Die Bedeutung der Arbeit mit dem Energieniveauschema wird durch die Aufgabe, den Lehrbuchtext als HA erneut durchzuarbeiten, unterstrichen.

(3) Ein Schüler löst die Aufgaben an der (zunächst) verdeckten Tafel. Er erläutert nachfolgend seine Ergebnisse am Energieniveauschema.
Der Gesamtzusammenfassung kommt u. a. als Vorbereitung auf die Leistungskontrolle in der folgenden Unterrichtsstunde Bedeutung zu. Nach der Wertung der Linienspektren als Beleg für die Existenz diskreter Energiezustände wird ein Ausblick auf weitere Belege (Franck-Hertz-Versuch) gegeben. Ein Teil der Ausführungen im LB auf den Seiten 148 und 150 stellt eine gewisse Ergänzung dar. Er trägt in starkem Maße zur Systematisierung des Wissens der Schüler bei und sollte deshalb zumindest an die physikalisch besonders interessierten Schüler z. B. in Form

einer zusätzlichen HA herangetragen werden. Die Aufgabe, daß diese Schüler einen Kurzvortrag halten, hat den Vorzug, daß auch die übrigen einen Einblick in die Zusammenhänge erhalten. In leistungsstarken Klassen können diese Gedankengänge bereits in die Unterrichtsstunde einfließen, wenn die Vorbereitung der Vorträge in (2) als HA erfolgt. Für die folgende Stunde werden Schülervorträge Anwendungsbeispiele zur Spektralanalyse vergeben (LB, S. 146, „Brockhaus ABC"):

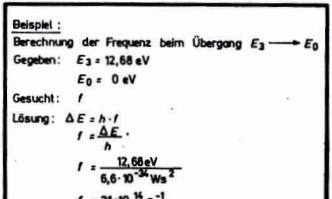
Tafelbild

Bild 191/1



a

Bild 191/2



b

8. Stunde: Spektralanalyse

Stundenziele

Die Schüler

- vertiefen die Erkenntnis, daß Licht für die jeweilige Atomart charakteristisch ist;
- kennen das Prinzip der Spektralanalyse und die prinzipielle Wirkungsweise des Spektrometers;
- kennen die Unterschiede zwischen Emissions- und Absorptionsspektren;
- kennen Anwendungsbereiche der Spektralanalyse und ihre Bedeutung.

Unterrichtsmittel

FO oder AT: Prinzipieller Aufbau eines Spektrometers
DE: PSV 11, V 4.2.2.a

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Spektrum und Energieniveauschema von Wasserstoff (K der HA, W, S) **10 min**	Lösen von Aufgaben (LB, S. 169) und Beantworten von Fragen (SSA)
(2) Prinzip der Spektralanalyse Prinzipielle Wirkungsweise des Spektrometers (E) **15 min**	Demonstrieren des Linienspektrums von Quecksilberdampf (DE), Vergleich mit dem Wasserstoffspektrum und dem Heliumspektrum (LB, S. 148), Aufzeigen des prinzipiellen Vorgehens bei der Spektralanalyse (LV), Beschreiben der Erzeugung eines Spektrums (W anhand FO), Aufbau und Wirkungsweise eines Spektrometers (LV, TB 193/1 a)
Bei der Spektralanalyse werden aus den beobachteten Spektren vor allem Rückschlüsse auf die Art der Stoffe gezogen, die sich in der untersuchten Substanz befinden. Ein Spektrometer besteht aus einem Kollimatorrohr mit Spalt, einem Fernrohr, einem Prisma oder optischem Gitter und einer Ablesevorrichtung.	
(3) Emissions- und Absorptionsspektren (E) Anwendung der Spektralanalyse Informationsgehalt der Spektren (A) **20 min**	Hinweis, daß nicht alle Stoffe zum Aussenden von Licht angeregt werden können, Erinnern an die Möglichkeit der Abgabe und Aufnahme bestimmter Energiebeträge durch das Atom (Energieniveauschema), Begründen des Auftretens von Absorptionsspektren (LV) Aufzeigen wesentlicher Unterschiede (UG), Beschreiben wichtiger Anwendungsmöglichkeiten (SV) Vermitteln eines Einblicks in die Fülle von Informationen, die aus der Untersuchung der Spektren resultieren (LV, HA TB 193/1 b)
Bei der Spektralanalyse können Emissions- und Absorptionsspektren Verwendung finden. Sie wird in vielen Bereichen der Forschung und Praxis angewandt.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

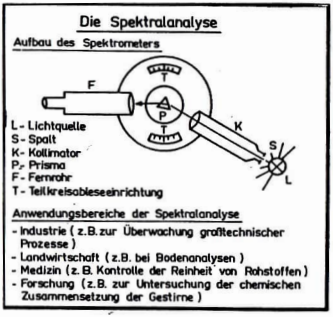
Die Unterrichtsstunde soll den Schülern, gestützt auf ihre Kenntnisse aus Kl. 10, nur einen Einblick in die Spektralanalyse und ihre praktische Anwendung geben. Es liegen aktuelle Bezüge, u. a. bezüglich der Kosmosforschung, nahe. Es kommt besonders darauf an, daß die Schüler das Prinzip und die Bedeutung erfassen und sich bestimmte Beispiele einprägen.

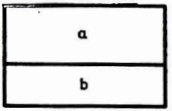
(1) Die Wiederholung bietet gute Möglichkeiten sowohl einer mündlichen als auch schriftlichen Leistungskontrolle. Die Aufgaben können u. a. in der Angabe des Entstehungsbereiches des Lichts mit entsprechenden Belegen, der Charakterisierung von kontinuierlichen Spektren und Linienspektren, im Erläutern eines vorgegebenen Energieniveauschemas mit bestimmten Übergängen, in der Berechnung der zugehörigen Frequenzen und Wellenlängen und in der Einordnung in das elektromagnetische Spektrum bestehen.

(2) Das Linienspektrum des Quecksilbers ist am einfachsten der Demonstration zugänglich. Es unterscheidet sich wesentlich vom Wasserstoffspektrum und belegt damit überzeugend, daß jeder gasförmige Stoff ein für ihn charakteristisches Spektrum aussendet (PSV 11, V 4.2.2.a). Ein Notbehelf ist die Betrachtung des Spektrums eines zweiten Gases, auf die bereits in den Erläuterungen zur 6. Stunde hingewiesen wurde.

(3) Die Betrachtungen zu den Emissions- und Absorptionsspektren stellen Wiederholungen aus Kl. 10 dar, die mit den Erkenntnissen bzgl. des Energieniveauschemas verknüpft werden.
Im Zusammenhang mit dem Bewußtmachen der Fülle der Informationen, die die Spektren sowohl bzgl. der Struktur der Stoffe, des Wesens des Lichts und darüber hinaus bei der Lösung spezieller Probleme der Forschung und Praxis liefern, sollte auf die Bedeutung der Spektralanalyse für die kosmische Forschung verwiesen werden. In diesem Bereich ist für Objekte größerer Entfernung das Licht die hauptsächlichste und oftmals einzige Informationsquelle, die zu ganz wesentlichen Erkenntnissen über die stoffliche Zusammensetzung und die jeweiligen physikalischen Bedingungen geführt hat (LB, S. 150). Die Vertiefung des behandelten Stoffes erfolgt in der Hausarbeit der Schüler (LB, Nr. 2, 3, S. 149, 1, 2, 3, S. 151, 4, 5, 6, S. 169).

Tafelbild
Bild 193/1





9. Stunde: Quantenhafte Anregung von Atomen

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, daß die quantenhafte Anregung durch thermische Energie, Strahlungsenergie und kinetische Energie der Elektronen erfolgen kann;
- erkennen die große Breite der mittels des Energieniveauschemas getroffenen Aussagen zur quantenhaften Emission und Absorption;
- können die Versuchsanordnung und -durchführung des Elektronenstoßexperiments von J. Franck und G. Hertz beschreiben;

– erkennen, daß eine allmähliche Vergrößerung der Energie der Glühelektronen in einem gasgefüllten Raum nicht zu einem Anstieg des Elektronenstromes in allen Bereichen führt.

Unterrichtsmittel

DE 1: Stromversorgungsgerät für Hochspannung oder Funkeninduktor mit Stromversorgungsgerät für Niederspannung, Spektralröhren
DE 2: PSV 11, V 4.3.1.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Prinzip und Anwendungen der Spektralanalyse (K der HA, Fst, W, S) **10 min**	Lösen von Aufgaben und Beantworten von Fragen (SSA)
(2) Quantenhafte Anregung durch – Strahlungsenergie – thermische innere Energie – kinetische Energie der Elektronen (E) **15 min**	Herausarbeiten verschiedener Möglichkeiten zur Übertragung von Energie auf Atome; – Absorptionsspektren als Beleg für die Anregung durch Licht (UG) – Leuchten von Flammen, insbesondere Flammenfärbung als Nachweis der thermischen Anregung (LV) – Leuchterscheinungen in Gasentladungen als Hinweis auf die Anregung durch kinetische Energie der Elektronen, Notwendigkeit der weiteren Untersuchung (DE, LV, TB 195/1a)
Die im Energieniveauschema dargestellte quantenhafte Anregung kann durch Strahlungsenergie, thermische Energie und kinetische Energie erfolgen. Belege hierfür sind die Absorptionsspektren, das Leuchten von Flammen und stromdurchflossenen Gasen.	
(3) Elektronenstoßexperiment von J. Franck und G. Hertz Versuchsanordnung *I-U*-Diagramm (E) **20 min**	Vorstellen der Versuchsanordnung (Schaltplan) von J. Franck und G. Hertz und Vertrautmachen mit der geplanten Versuchsdurchführung (LV, TB 195/1b) Diskutieren der Anordnung Aufzeigen der erwarteten Ergebnisse (SSA) Erläutern der Versuchsanordnung, Versuchsdurchführung (DE, LV) Ablesen der Meßwerte, grafisches Darstellen (SSA, HA, TB 195/1c)
Eine schrittweise Vergrößerung der kinetischen Energie von Glühelektronen in einem gaserfüllten Raum führt nicht im erwarteten Maße zu einem Ansteigen des Elektronenstroms, sondern in bestimmten Bereichen zu einem Absinken.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

(1) Den Gedankengang, daß die Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt mit den Messungen übereinstimmt, wenn eine Absorption des Lichts in

Quanten mit der Energie $E = h \cdot f$ zugrunde gelegt wird, setzt man fort, indem quantenhafte Energieaustauschprozesse in der Elektronenhülle untersucht werden.

(2) Ausgangspunkt und Grundlage der weiterführenden Betrachtungen sind die im Energieniveauschema dargestellten Übergänge. Den Spektrallinien bei Emission wurden die nach unten gerichteten Pfeile zugeordnet, so daß die Frage auftritt, welche Prozesse den nach oben gerichteten Pfeilen entsprechen. In Anknüpfung an die vorangegangene Stunde (Absorptionsspektren) wird zunächst auf die Anregung durch Licht eingegangen. Bezüglich der thermischen Anregung und der Anregung durch kinetische Energie führen die Experimente nicht so unmittelbar zu entsprechenden Schlußfolgerungen. Deshalb werden die Zusammenhänge in einem Lehrervortrag aufgezeigt. Aus der teilweise begründeten Vermutung einer Stoßanregung in Gasen folgt die Notwendigkeit einer genaueren Untersuchung und Überprüfung.
Die Demonstration von Absorptionsspektren ist mit geringem Aufwand möglich. Im einfachsten Falle wird eine Versuchsanordnung zur Demonstration eines kontinuierlichen Spektrums zusammengestellt und eine abgedeckte Glasküvette in den Strahlengang gebracht. In dieser befindet sich z.B. Stickstoffdioxid oder Bromdampf (erzeugt durch Einbringen einiger Tropfen rauchender Salpetersäure bzw. Brom). Auch eine wäßrige Lösung von Kaliumpermanganat ergibt ein gutes Absorptionsspektrum. Bei der Flammenfärbung wird Bezug auf die Experimente in der 6. Unterrichtsstunde genommen. Die Leuchterscheinungen in stromdurchflossenen Gasen werden durch Befestigen von Spektralröhren zwischen den Elektroden eines Funkeninduktors demonstriert.

(3) Beim Bekanntmachen mit der Versuchsanordnung von J. Franck und G. Hertz wird sowohl die Gemeinsamkeit im Aufbau mit einer Triode hervorgehoben als auch die Tatsache der Gasfüllung. Die Diskussion dient dem intensiven Vertrautmachen mit der Versuchsanordnung und -durchführung. Aufgrund der Analogie zur Triode liegt die falsche Prognose nahe, daß der Auffängerstrom mit zunehmender Beschleunigungsspannung gleichmäßig anwächst. Sie führt nach Aufnehmen des Strom-Spannungsverlaufes zur gewünschten Problemsituation. Dennoch sollten Ansätze richtiger Voraussagen in angemessenem Maße gefördert werden.
Für das Elektronenstoßexperiment sind alle gasgefüllten Thyratrone geeignet. Vor-

Tafelbild

Bild 195/1

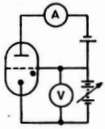
Quantenhafte Anregung von Atomen

Möglichkeiten der Anregung von Atomen

- Strahlungsenergie (Nachweis durch Absorptionsspektren)
- thermische innere Energie (Nachweis durch Flammenfärbung)
- kinetische Energie der Elektronen (Nachweis durch Leuchterscheinungen in Gasentladungen)

Elektronenstoßexperiment

Schaltplan



Meßergebnisse

Beschleunigungsspannung U in V	Auffängerstrom I in mA
2	
4	
6	
8	
10	
12	
14	
16	

a	
b	c

aussetzung für das Gelingen ist ein angemessenes Unterheizen der Katode, das durch Probieren ermittelt werden muß. Experimentelle Hinweise enthält PSV 11, V 4.3.1. Eine qualitative Demonstration des Effektes ist auf einfache Weise mit der Perrinschen Röhre möglich (PSV 11, V 4.3.3.). Die HA dient dem Beschäftigten mit den Formen der quantenhaften Anregung und dem Prinzip des Elektronenstoßversuchs sowie dem Lösen einer weiteren Aufgabe zum Energieniveauschema.
Zur folgenden Stunde bereiten sich 2 Schüler auf einen Vortrag zur Würdigung der Forscherpersönlichkeiten von J. Franck und G. Hertz vor (LB, S. 154, 155). Weitere Hinweise enthält Herneck: „Bahnbrecher des Atomzeitalters". Das Ziel der Vorträge besteht in einer Würdigung der wissenschaftlichen Leistung und der politischen Arbeit der Forscher, nicht der detaillierten Wiedergabe ihres Lebenslaufes.

10. Stunde: Elektronenstoßexperiment von J. Franck und G. Hertz

Stundenziele

Die Schüler

- können die Strom-Spannungskurve beim Elektronenstoßexperiment erläutern und auf der Grundlage quantenhafter Anregungen durch die kinetische Energie der Elektronen deuten;
- werten die Untersuchungen als weiteren Beleg für den beim äußeren lichtelektrischen Effekt erkannten Zusammenhang, daß die Energiebilanz mit den Messungen übereinstimmt, wenn eine Absorption der Energie in Quanten zugrunde gelegt wird;
- kennen die historische Entwicklung der Erkenntnisfindung im Bereich der Vorstellungen vom Wesen des Lichts und die große Bedeutung der experimentellen Untersuchungen;
- kennen den Einfluß der Erkenntnisfindung auf die Auseinandersetzung zwischen philosophischem Materialismus und Idealismus bzgl. der Erkennbarkeit der Welt.

Unterrichtmittel

Bilder von J. Franck und G. Hertz
Dokumente zur Würdigung ihrer Forscherpersönlichkeit

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Auswertung des Strom-Spannung-Diagramms Begründen der Lichtemission des angeregten Gases (E) 15 min	Beschreiben der Vorgänge in der Elektronenstoßröhre Aufzeigen des Zusammenhangs zwischen Anregungsvorgang und Lichtemission der Gasatome Herausarbeiten der quantitativen Übereinstimmung der berechneten und gemessenen Frequenzen des ausgestrahlten Lichts (LV, SSA, HA, TB 198/1a)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Elektronen vermögen nur bestimmte Energiebeträge an die Atome zu übertragen. Die Energie wird von den Atomen nachfolgend in bestimmten Beträgen in Form von Licht wieder abgegeben.	
(2) J. Franck und G. Hertz (E) 10 min	Würdigung der Forscherpersönlichkeiten von J. Franck und G. Hertz (SV 1 und 2)
Der Franck-Hertz-Versuch ist eines der grundlegendsten Experimente der Physik. Franck und Hertz gehören zu den Unterzeichnern der Mainauer Erklärung der Nobelpreisträger von 1955.	
(3) Historische Entwicklung der Vorstellungen vom Licht (E) 20 min	Vervollständigen des Überblicks über die historische Entwicklung der Vorstellungen vom Licht (SSA) Bewußtmachen des Einflusses der Erkenntnisse vom Wesen des Lichts auf die Auseinandersetzung zwischen philosophischem Materialismus und Idealismus bzgl. der Erkennbarkeit der Welt (LV, TB 198/1 b)
Die trotz der Schwierigkeiten durch beharrliche Forschungsarbeit erzielten Erfolge bei der Aufklärung des Wesens des Lichts belegen in überzeugender Weise die Erkennbarkeit der Welt.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Die Unterrichtsstunde dient der Fortsetzung der Untersuchungen der vorangegangenen und bildet mit ihr eine Einheit. Deshalb beginnt die Stunde nicht mit einer Wiederholung und Leistungskontrolle.

(1) Die Deutung (Lösung des Problems) erfolgt in einem Lehrervortrag, in dem außerdem als besondere wissenschaftliche Erkenntnis herausgearbeitet wird, daß spektroskopische Messungen (Linienspektren) und die Messungen nach J. Franck und G. Hertz zu übereinstimmenden Ergebnissen geführt haben (LB, S. 152). Im Anschluß an die Zusammenfassung durch die Schüler erfolgt ggf. die Klärung aufgetretener Unklarheiten in einer Diskussion. Als HA werden die Aufgaben 1 und 3 (LB, S. 153) und 7 und 8 (LB S. 169) gestellt. Dabei ist der Berechnung der Wellenlängen der Strahlung als Beleg für die Absorption und Emission gleicher Energiebeträge besonderer Wert beizumessen.

(3) Die Schüler arbeiten die Abschnitte im LB, S. 155/156 mit dem Ziel durch, sich wichtige Schritte der Erforschung des Lichts einzuprägen. Beim anschließenden Vortragen der wichtigen Fakten entwickeln die Schüler eine stichpunktartige Übersicht mit Jahreszahlen an der Tafel. Auftretende Fragen werden in einer Diskussion geklärt. Der Lehrervortrag sollte in Anbetracht seiner Bedeutung besonders sorgfältig durchdacht und fundiert werden. Ein abschließender Ausblick (LV) auf die Behandlung des Lasers orientiert auf die Praxis als wesentliches Kriterium für die Richtigkeit der gewonnenen Erkenntnisse. Auf der Grundlage des erworbenen Wissens ist es möglich, planmäßig neue Anordnungen zu schaffen, für die in der Natur kein Vorbild existiert.

Tafelbild
Bild 198/1

a
b

11. Stunde: Der Laser

Stundenziele

Die Schüler

- kennen das Energieniveauschema und die prinzipielle Wirkungsweise eines Lasers;
- kennen die Eigenschaften und einige wichtige Anwendungen der Laserstrahlung.

Es wird die Überzeugung der Schüler gefestigt, daß es auf der Grundlage erkannter Gesetze möglich ist, neue, funktionsfähige Anordnungen zu schaffen, für die es in der Natur kein Vorbild gibt.

Unterrichtsmittel

FO: spontane und induzierte Emission (selbst gefertigt)
AT: Energieniveauschema des Lasers
AT: Prinzipieller Aufbau des Lasers
Dias oder Bilder: Praktische Anwendung der Laserstrahlung (selbst hergestellt)

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) HA (K) Spontane und induzierte	Erläutern des Unterschiedes zwischen spontaner und induzierter Emission (LV), Nachweis der untergeordneten Bedeutung der indu-

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Emission (E) 10 min	zierten Emission bei herkömmlichen Lichtquellen (UG), Informieren über die Lebensdauer der verschiedenen angeregten Zustände (LV, TB 200/1a)
Ein angeregtes Atom kehrt durch Emittieren eines Photons in den Grundzustand zurück (spontane Emission). Unter dem Einfluß einer äußeren elektromagnetischen Strahlung kann das angeregte Atom vorzeitig zum Emittieren eines Photons angeregt werden und in den Grundzustand zurückkehren (induzierte Emission).	
(2) Energieniveauschema des Lasers Aufbau des Lasers Wirkungsweise des Lasers (E) 15 min	Darstellen des Energieniveauschemas des Lasers, Erläutern der Übergänge (LV, TB 200/1b) Beschreiben der Hauptbestandteile des Lasers und ihrer Anordnung, Herstellen eines Bezugs zum Energieniveauschema Beschreiben der Wirkungsweise (LV, TB 200/1b)
(3) Eigenschaften der Laserstrahlung Verwendung von Laserstrahlung in der Praxis (E) 20 min	Informieren über die Besonderheiten der Laserstrahlung (SSA) Vergleich der Laserstrahlung mit der Strahlung herkömmlicher Lichtquellen (UG) Beschreiben der Anwendungen des Lasers (SV 1 bis 3) Vervollständigen des Überblicks, Herstellen aktueller Bezüge (UG, HA: LB, S. 157, Nr. 1, 2, TB 200/1c, d)
Aufgrund der besonderen Eigenschaften der Laserstrahlung nimmt der praktische Einsatz des Lasers ständig zu. Besondere Fortschritte wurden in der Längen- und Entfernungsmessung, Nachrichtenübermittlung, Materialbearbeitung und Medizin erzielt.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

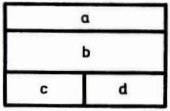
(1) Eine Wiederholung und Leistungskontrolle entfällt mit dem Hinweis auf die schriftliche Arbeit in der folgenden Stunde. Eingangs wird nur Gelegenheit gegeben, Fragen zu den Hausaufgaben zu stellen.
Die Behandlung des Lasers beschränkt sich auf das Wesentliche. Die Einführung der spontanen und induzierten Emission erfolgt unter Verwendung von Folien, die in Anlehnung an die Lehrbuchabbildungen selbst gestaltet sind.

(2) Das Energieniveauschema wird vom Lehrer an der Tafel entwickelt und erläutert. Als Grundlage für die Behandlung des Aufbaus dient eine Anschauungstafel und die Lehrbuchabbildung. Die Beschreibung der Hauptbestandteile des Lasers erfolgt ausgehend von den Darlegungen zum Energieniveauschema. Es sind besonders die Existenz langlebiger Anregungszustände zu betonen und die hohen Anforderungen an den Resonator, der die Bedingungen für eine intensive stimulierte Emission schafft und die Parallelität des Laserlichtes entscheidend bestimmt. Für die Vermittlung ist der Lehrervortrag vorzuziehen.

(3) Die Schüler informieren sich (LB, S. 56.) über die Besonderheiten der Laserstrahlung. In der folgenden Diskussion, in der die Eigenschaften der Laserstrahlung mit der des Lichts herkömmlicher Lichtquellen verglichen werden, vergewissert sich der Lehrer über die sorgfältige Lösung der gestellten Aufgabe. Fragen und Denkanstöße dienen der Herausarbeitung des Wesentlichen. U. a. weist der Lehrer

darauf hin, daß zwar beim Laserlicht die Welleneigenschaften besonders ausgeprägt sind, daß das aber nichts an der Tatsache ändert, daß zur Beschreibung des Mikroobjekts Licht das Wellen- und das Teilchenmodell herangezogen werden müssen.
In langfristig vorbereiteten Schülervorträgen berichten einzelne Schüler über die praktische Anwendung der Laserstrahlung.

Tafelbild
Bild 200/1



12. Stunde: Leistungskontrolle

Stundenziele

Die schriftliche Arbeit dient der Leistungskontrolle, Wiederholung, Festigung und Systematisierung. Sie trägt unter Nutzung der Vorzüge des Arbeitsblattes zur Verbesserung des schriftlichen Ausdrucksvermögens der Schüler und zur Befähigung zur systematischen, straffen und verständlichen, fehlerfreien Darstellung wissenschaftlicher Gedankengänge und Zusammenhänge bei.

Unterrichtsmittel

AB: Quantenhafte Absorption und Emission (selbst hergestellt)

Hinweise zum Inhalt und zur Gestaltung des Arbeitsblattes

Im Arbeitsblatt sollte auf folgende wesentliche Inhalte eingegangen werden:

- Untersuchung des äußeren lichtelektrischen Effekts;
- Deutungsversuche der Erscheinung mittels des Wellen- und des Teilchenmodells;
- Lichtquanten und Einsteinsche Gleichung;
- Untersuchung der Linienspektren, Energieniveauschema;
- Elektronenstoßexperiment und Laser und seine Anwendung.

Zur Systematisierung tragen z.B. folgende Aufgabenstellungen bei:

— Nennen Sie Belege für die Existenz diskreter Energieniveaus des Atoms! Denken Sie dabei an ...
— Welche übereinstimmenden Aussagen folgen aus der Untersuchung der Linienspektren in Emission und Absorption und dem Franck-Hertz-Versuch?

Einige der Aufgaben sollten in Anlehnung an die Fragen bzw. Aufgaben im Lehrbuch gestellt werden, so z.B. die Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums und der Austrittsarbeit aus Meßdaten und die Bestimmung von Lichtfrequenzen und Wellenlängen aus dem Energieniveauschema. Weitere mögliche Aufgaben bestehen

— in der Diskussion des vorgegebenen Verlaufs eines Energie-Frequenz-Diagramms von Fotoelektronen und der Bestimmung wichtiger Größen;
— in der Interpretation eines vorgegebenen Energieniveauschemas und der Ergänzung entsprechend der Aufgabenstellung;
— in der Erläuterung eines vorgegebenen I-U-Diagramms vom Elektronenstoßversuch und der Ermittlung wichtiger Daten.

13. Stunde: Wellen- und Teilcheneigenschaften bei Mikroobjekten (I)

Stundenziele

Die Schüler

— wissen, wie das Interferenzmuster beim Durchstrahlen des Doppelspalts mit Licht entsteht;
— erkennen, daß auch freie Elektronen Wellen- und Teilcheneigenschaften besitzen;
— wissen, daß die Häufigkeitsverteilung beim Durchgang von Elektronen durch einen Doppelspalt der bei Photonen gleicht.

Die Einsichten der Schüler bzgl. des Wesens statistischer Gesetze werden vertieft.

Unterrichtsmittel

FO: Aufbau eines Interferenzmusters bei extrem kleinem Lichtstrom (selbst hergestellt)
Dias oder Bilder: Interferenzmuster von Licht und Elektronen (Doppelspalt, Kreuzgitter und Kristallgitter) (selbst hergestellt)
DE 1: PSV 11, V 9.1.1. Vorversuch
DE 2: PSV 11, V 9.1.2.

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Verhalten von Lichtquanten am	Vorstellen von experimentellen Anordnungen, die zur weiteren Untersuchung des Wesens des Lichts geeignet

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Doppelspalt bei nacheinander geöffneten Spalten (E) 15 min	sind (LV), Aufzeigen von Möglichkeiten, wie mechanische Teilchen und Wellen einen Doppelspalt durchdringen (DE 1, DE 2), gedankliche Durchführung des Doppelspaltexperiments mit Licht bei nacheinander geöffneten und nachfolgend gleichzeitig geöffneten Spalten (UG, TB 203/1a)
Photonen durchdringen den Doppelspalt nicht wie Teilchen im mechanischen Sinne.	
(2) Verhalten von Lichtquanten am Doppelspalt bei extrem geringem Lichtstrom (E) 5 min	Gedankliche Durchführung des Doppelspaltexperiments mit Licht bei extrem geringem Lichtstrom, Bewußtmachen der Schwierigkeiten bei der Deutung (LV)
Auch bei extrem geringem Lichtstrom treffen die Photonen in einer solchen Verteilung auf dem Schirm hinter dem Doppelspalt so auf, daß das typische Interferenzmuster auftritt.	
(3) Teilchen- und Welleneigenschaften freier Elektronen (E) 20 min	Zusammenstellen der Teilcheneigenschaften von Elektronen (UG) Beschreiben des Doppelspaltexperiments mit Elektronen (LV) Betrachten, Deuten und Vergleichen der Interferenzbilder, die beim Durchgang von elektromagnetischen Wellen (Licht- bzw. Röntgenstrahlen) und Elektronen durch Kreuzgitter, Kristalle und Metallfolien entstehen (SSA, TB 203/1b)
Durchdringen Elektronen den Doppelspalt, so treten Interferenzmuster auf. Die Interferenzmuster, die beim Durchgang von Elektronen durch einen Doppelspalt, ein Kristall oder eine Metallfolie entstehen, entsprechen denen, die beim Durchgang von Licht durch gleiche oder analoge Objekte auftreten.	
(4) Arbeitsblätter 5 min	Rückgabe der Arbeitsblätter, Leistungsanalyse, Vergabe von Arbeitsaufträgen (LV)

Hinweise zum Stundenverlauf

Das Wesen des Lichts wird anhand solcher Experimente weiter verdeutlicht, die es auch gestatten, Analogiebetrachtungen zu den Wellen- und Teilcheneigenschaften von Elektronen herzustellen. Die Schüler erlangen dabei Vorstellungen über die Grenzen der klassischen Physik sowie einen Ausblick auf die Wege, die in der modernen Physik beschritten werden. Aufbau und Inhalt der Stunde entsprechen weitgehend den Ausführungen im Lehrbuch.

(1) Ausgehend von der Langzeitmotivation macht der Lehrer den Schülern bewußt, daß in den vorangegangenen Unterrichtsstunden eine Fülle von Informationen über das Licht gewonnen wurde, daß aber immer noch Fragen offengeblieben sind. Dazu wird eine Doppelspaltanordnung und eine Anordnung mit zwei halbdurchlässigen Spiegeln (TB 203/1a) skizziert. Das Problem, das durch die anschließenden Betrachtungen und Experimente noch deutlicher heraustritt, gipfelt in den Fragen

— In welcher Weise durchdringen die Photonen den Doppelspalt?
— Wie entsteht das Interferenzmuster?

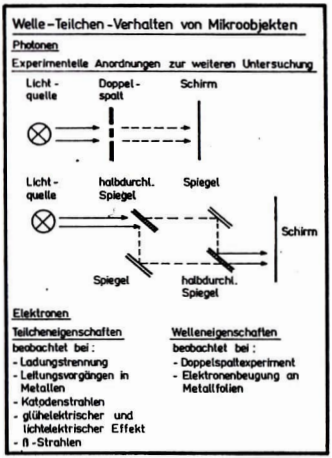
Nach dem Herausarbeiten der prinzipiellen Möglichkeiten, die auf der Grundlage mechanischer Vorstellungen bestehen, werden die Experimente entsprechend PSV 11, V 9.1.1. Vorversuch und V 9.1.2. durchgeführt.

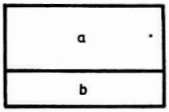
(2) Die Möglichkeit eines paarweisen Durchdringens des Spalts führt zur Betrachtung der Verhältnisse bei extrem geringem Lichtstrom. Dabei kann auf die Abbildung 161/3 im LB zurückgegriffen werden. Es werden die Grenzen der Anwendbarkeit mechanischer Modelle deutlich.
Die in der Stoffeinheit „kinetisch-statistische Betrachtungen" gewonnenen Erkenntnisse werden bei der Darstellung genutzt. Die Untersuchungen tragen dazu bei, die Kenntnisse und Einsichten bzgl. des Wesens statistischer Gesetze zu vertiefen.

(3) Ausgangspunkt der Betrachtungen sind Erscheinungen und Experimente, bei denen das Verhalten der Elektronen mittels des Teilchenmodells erklärt wurde bzw. erklärt werden kann. Das Doppelspaltexperiment mit Elektronen wird auf der Grundlage von Lehrbuchabbildungen erläutert. Zum Vergleich der Interferenzbilder von Elektronen und Photonen werden analoge Versuchsanordnungen und durchstrahlte Objekte ausgesucht (LB, S. 162).

(4) Schüler, bei denen sich in der Kontrollarbeit größere Lücken gezeigt haben, erhalten Anregungen und Aufgabenstellungen zu deren Beseitigung. Für die 14. Stunde werden folgende Schülervorträge vergeben: Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise des Lichtmikroskops und Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise des Elektronenmikroskops. Als Literatur ist neben dem Lehrbuch z.B. Brockhaus „ABC Physik" geeignet.

Tafelbild
Bild 203/1





14. Stunde: Wellen- und Teilcheneigenschaften von Mikroobjekten (II)

Stundenziele

Die Schüler

- erkennen, daß alle Mikroobjekte sowohl gewisse Teilchen- als auch Welleneigenschaften besitzen;
- erkennen den Einfluß dieser Erkenntnisse auf die Entwicklung der Naturwissenschaften und der Philosophie;
- kennen die prinzipielle Wirkungsweise des Elektronenmikroskops;
- kennen die wesentlichen Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Elektronenmikroskop und Lichtmikroskop.

Unterrichtsmittel

AT: Bildentstehung im Mikroskop
Dia: Elektronenmikroskop (selbst bereitgestellt)
Dia oder FO: Aufbau des Elektronenmikroskops (selbst bereitgestellt)
Dias: Protonen- und Neutronenbeugung (selbst bereitgestellt)
Lichtmikroskop

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Wellen- und Teilcheneigenschaften von Photonen und Elektronen (W) **10 min**	Kennzeichnen der Wellen- und Teilcheneigenschaften von Photonen und Elektronen, Erläuterung an ausgewählten Anordnungen (UG)
(2) Wellen- und Teilcheneigenschaften von Mikroobjekten (E) **15 min**	Verallgemeinern der Erkenntnisse bzgl. Photonen und Elektronen auf alle Mikroobjekte, Belegen durch Aufnahmen von Protonen- und Neutronenbeugungen, Kennzeichnen der historischen Bedeutung dieser Erkenntnisse (LV, HA, TB 2051a)
Alle Mikroobjekte besitzen sowohl gewisse Teilchen- als auch Welleneigenschaften. Diese Erkenntnis war von großer Bedeutung für die Entwicklung der Naturwissenschaften und der Philosophie.	
(3) Lichtmikroskop und Elektronenmikroskop (E) **20 min**	Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise des Lichtmikroskops (SV) Aufbau und prinzipielle Wirkungsweise des Elektronenmikroskops (SV) Vergleich hinsichtlich des prinzipiellen Aufbaus (UG) und Auflösungsvermögens (LV, TB 205/2b)
Elektronenmikroskope besitzen den gleichen prinzipiellen Aufbau wie Lichtmikroskope. Sie zeichnen sich ihnen gegenüber jedoch durch eine stärkere Vergrößerung und ein besseres Auflösungsvermögen aus.	

Erläuterungen zum Stundenverlauf

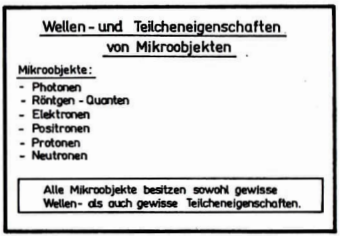
(1) Die Wiederholung erfolgt auf der Grundlage der in der vorangegangenen Stunde angeführten Experimente und Betrachtungen.

(2) Als Beleg werden den Schülern einige Beugungsbilder von Neutronen und Protonen ggf. aus Physikbüchern gezeigt. Zur Kennzeichnung der naturwissenschaftlichen Bedeutung der Erkenntnisse sollte u. a. auf die Vorstellung vom Aufbau der Atome (wellenmechanisches Atommodell) kurz eingegangen werden. Als HA arbeiten die Schüler in erster Linie die Zusammenfassung auf der Seite 163 durch.

(3) Beim Vergleich der Leistungsfähigkeit der Mikroskope muß die wesentliche Rolle des Auflösungsvermögens herausgearbeitet werden.

Tafelbild

Bild 205/1



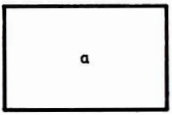
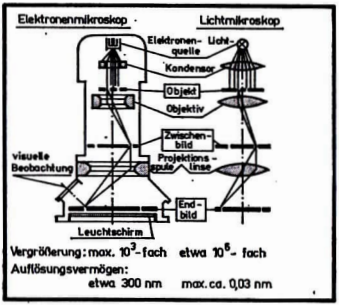
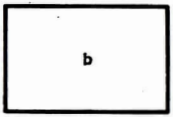


Bild 205/2





Vorbemerkungen

Das physikalische Praktikum wird für die Persönlichkeitsentwicklung besonders wirksam, wenn es die bewußte, schöpferische und selbständige Tätigkeit der Schüler fordert und entwickelt. Diese Tätigkeit dient im Praktikum der Anwendung bereits erworbenen Wissens und Könnens, der Herausbildung von Fertigkeiten im Lösen experimenteller Aufgaben sowie dem Erwerb neuer Kenntnisse. Das Praktikum bildet deshalb eine Einheit mit dem vorausgegangenen Physikunterricht, die Stoffvermittlung muß dort bereits auf das Praktikum orientieren und die Schüler positiv bezüglich der selbständigen Lösung experimenteller Aufgaben stimulieren. Das Praktikum wirkt durch die Anwendung der erworbenen Kenntnisse festigend und unterstützt die Erarbeitung neuer Erkenntnisse. Von besonderer Bedeutung ist die kollektive Zusammenarbeit der Schüler im Praktikum. Sie entwickeln dabei sozialistische Verhaltenseigenschaften, wie Verantwortungsbewußtsein für die gemeinsam zu lösende Aufgabe, die Fähigkeit zur Selbstkritik und zur helfenden kritischen Haltung gegenüber den Mitschülern. Die Sicherung einer echten kollektiven Arbeit gehört zu den schwierigen Aufgaben, die Fachlehrer und Schüler im Praktikum zu lösen haben.
Die Lösung der Praktikumsaufgaben trägt außerdem zur Entwicklung des materialistischen Weltbildes der Schüler bei (Einsicht in die Erkennbarkeit der Welt, die Rolle der Praxis als Kriterium der Theorie und die Stellung des Menschen zu den Naturgesetzen).

Experimentelle Arbeit in der Abiturstufe

Ausgehend vom Charakter der Erweiterten Oberschule hat auch das physikalische Praktikum der Abiturstufe allgemeinbildenden Charakter. Vor allem darin und nicht in der einseitigen Orientierung auf hochschulgerechte Methoden der Praktika ist die Vorbereitung der Schüler auf ihr Hochschulstudium und ihre berufliche Praxis durch das physikalische Praktikum zu sehen. Mit Abschluß der Klasse 10 verfügen die Schüler über grundlegende, anwendungsbereite Kenntnisse physikalischer Sachverhalte und können Denk- und Arbeitsweisen der Physik anwenden. Auf dieser Basis erwerben die Schüler in der Abiturstufe neue Kenntnisse und das Können, kompliziertere physikalische Sachverhalte zu erfassen, die in den experimentellen Aufgaben des Praktikums enthalten sind.
In den Praktika der Oberstufe erhalten die Schüler zu jedem Experiment ausführ-

liche Anleitungen. In der Abiturstufe dienen die Anleitungen zunehmend mehr der Anregung zur Selbsttätigkeit der Schüler. Die Protokolle werden von den Schülern selbständig vorbereitet und mit zweckmäßigen Methoden bearbeitet. Die selbständige Darstellung theoretischer Grundlagen, die Erarbeitung einzelner Schritte des Experiments ohne Anleitung und schließlich die Arbeit mit den Einzelexperimenten bereiten die Schüler auf das völlig selbständige Lösen experimenteller Aufgaben anhand der Aufgabenstellung vor, so wie es in der Reifeprüfung gefordert wird.
Der Einsatz mathematischer Methoden bei der Lösung experimenteller Aufgaben wird bereits in den Vorbetrachtungen bei der Herleitung der auf die experimentelle Aufgabe zu beziehenden Gleichungen gefordert. In der Auswertung der Praktikumsexperimente werden elementare Rechenfertigkeiten und das Aufstellen von Diagrammen gefordert.
Die Fehlerbetrachtung erfolgt gegenüber den Praktika der Oberstufe tiefgründiger. Es werden keine statistischen Methoden der Fehlerrechnung gefordert, aber die Schüler müssen das Ergebnis bezüglich der Fehlerarten und ihres Einflusses einschätzen können. Sie erkennen die Bedeutung der Auswahl und Qualität der Meßgeräte für die Anzahl und das Ergebnis von Messungen. Eine wesentliche Forderung ist, das Ergebnis nur mit der gesicherten Anzahl Ziffern anzugeben.
Das Messen wird von den Schülern in der Abiturstufe umfangreicher und mit zum Teil komplizierteren Meßmethoden als in der Oberstufe gefordert. Die Gewohnheit der Schüler, an jede Messung mit Sorgfalt und Ehrlichkeit heranzugehen, ist zu festigen.
In der Abiturstufe wird von den Schülern stets gefordert, die experimentelle Aufgabe in das System ihrer physikalischen Kenntnisse einzuordnen bzw. Bezüge zur technischen Anwendung herzustellen. Der Bezug des physikalischen Praktikums auf die Erfahrungswelt der Schüler, auf andere Fächer und auf den gesamten Physikunterricht ist zur Erreichung dieser Ziele erforderlich.

Bewertung des Praktikums

Laut Lehrplan ist der Stand des in der experimentellen Tätigkeit der Schüler erreichten Wissens und Könnens, in das auch Verhaltenselemente wie Exaktheit und Kollektivität mit einfließen, zu bewerten. Dazu wird eine unter verschiedenen Aspekten durchgeführte Kontrolle vorgeschlagen, die durch Teilnoten oder auf der Basis von Punktsystemen zur Benotung führen kann. Unabhängig davon, ob Teilnoten erteilt werden oder ob nach Punkten bewertet wird, ist zu beachten, daß die theoretische und die geistig-praktische Leistung bewertet wird. Im Rahmen dessen, was der Lehrer während des Praktikums mit Unterstützung durch seine Fachhelfer (vergl. S. 236) und unter disziplinierter Mitarbeit aller Schüler leisten kann, erscheinen folgende Kontrollen möglich:
Nach gründlicher Vorbereitung des Praktikums mit den Schülern wird am Experimentierplatz mit jeder Schülergruppe bei der Durchführung eines Gruppenexperiments ein Gespräch geführt, um zu kontrollieren, mit welchem Kenntnisstand die Schüler an die Lösung dieser experimentellen Aufgabe herangehen. Dabei erfolgt Einsicht in das vorbereitete Protokoll, und es wird beobachtet, wie die Schülergruppe ihr experimentelles Können anwendet. Auch die kollektive Zusammenarbeit ist Gegenstand des Gesprächs. Daraus ergeben sich fördernde Hinweise an die Schüler, weniger Beiträge zur Benotung.

Dieses Gespräch wird für jeden Schüler einzeln benotet. Das erscheint unter den derzeitigen Bedingungen (Praktikum mit der gesamten Klasse) nur unter Einbeziehung der Fachhelfer zur Betreuung der übrigen Schülergruppen und nur zu einem Experiment möglich.
Bewertet werden sollten auch die Protokolle. Gute Erfahrungen wurden mit folgendem Bewertungssystem gesammelt: Alle Schülergruppen erhalten je eine Note auf die Exaktheit des Messens und auf Form und Inhalt der Protokolle. Ob diese Noten stichpunktartig aus einem Protokoll oder aus der Gesamtheit der Protokolle gewonnen werden, hängt von organisatorischen Fragen ab. Im Interesse der objektiven Benotung ist die Bewertung aller Protokolle vorzuziehen. Bewährt hat sich auch im Interesse des Zeitaufwands für Lehrer und Schüler sowie der anzustrebenden Kollektivität der Arbeit das Gruppenprotokoll, an dem alle Schüler der Gruppe gleichmäßig mitarbeiten. Das zu sichern, erfordert allerdings ein hohes Maß erzieherischer Einflußnahme und das Aufzeigen organisatorischer Möglichkeiten. Gute Anregungen für diese kollektive Arbeit, die hier genutzt werden sollten, erhalten die Schüler in der WPA. Mit anderen Formen, wie z.B. Anfertigung aller Protokolle durch jeden Schüler einzeln oder die Aufteilung der Protokolle in der Gruppe wird die kollektive Arbeit als wesentliches erzieherisches Element weniger gefördert.
Für die Protokolle der beiden Einzelexperimente wird eine gemeinsame Note vorgeschlagen. Die Schülerleistungen sind erst zu bewerten, wenn die Schüler die entsprechenden Leistungsvoraussetzungen besitzen. Das ist eventuell erst beim zweiten Einzelexperiment gesichert.
Eine abschließende schriftliche Leistungskontrolle zum Praktikum kann den Nachweis der gleichwertigen Mitarbeit der Gruppe in allen Phasen des Experiments durch die Schüler erbringen.
Vorgeschlagen wird, zu jeder Gruppe von Experimenten mit einer Frage die theoretische Vorbereitung der Schüler zu kontrollieren, eine Frage zu den verwendeten Geräten, zur Experimentieranordnung oder zum Ablauf zu stellen und mit einer weiteren Frage zu überprüfen, ob das Ergebnis des Experiments in das System der Kenntnisse eingeordnet werden konnte. Die Fragen müssen so formuliert sein, daß sie jede Schülergruppe auf die von ihr durchgeführten Experimente beziehen kann. Eventuell sind mehrere Fragen parallel zu stellen.
Mit der Bewertung ist die Praktikumsarbeit mit den Schülern nicht abgeschlossen. Sie erfüllt nur dann die in ihr auch enthaltene Zielfunktion, die weitere theoretische und praktische Tätigkeit im Physikunterricht positiv zu stimulieren, wenn mit den Schülern die Ergebnisse ihrer Praktikumsarbeit ausgewertet werden. Dabei müssen die Schüler erkennen, welche Schritte der experimentellen Tätigkeit sie bereits gut beherrschen und wo noch Potenzen der Verbesserung enthalten sind. Sie sollten auch Gelegenheit erhalten, Ergebnisse zu verteidigen, Schwierigkeiten aufzuzeigen, gute Erfahrungen darzulegen, um so für die experimentelle Arbeit in Klasse 12 Anregungen zu geben und zu erhalten.

Stoffverteilungsplan

Das Praktikum ist folgendermaßen gegliedert:

— Gruppenexperimente (GE);
— Einzelexperimente (EE).

Für das Praktikum Klasse 11 stehen elf Stunden zur Verfügung. Eine dieser Stunden dient der Systematisierung der Kenntnisse über die Fehlerbetrachtung. Sie ist dem Zeitvolumen des Praktikums zu entnehmen, kann aber zeitlich auch vor den verbindlichen Schülerexperimenten der Klasse 11 liegen. Hier wird vorgeschlagen, da eine Stunde für diese Problematik sehr knapp ist, bei den Schülerexperimenten zur Thermodynamik die Fehlerbetrachtung mit den Schülern gemeinsam durchzuführen und die Systematisierungsstunde an den Beginn des Praktikums zu legen. Sie dient dann der Festigung und der Bezugnahme auf die Fehlerbetrachtungen im Praktikum.
Im Praktikum sind drei Gruppenexperimente und zwei Einzelexperimente durchzuführen. In einer Vorbereitungsstunde sind mit den Schülern Anforderungen und Ziele des Praktikums zu diskutieren und die häusliche Vorbereitung anzuleiten. Deshalb wird vorgeschlagen, das erste Gruppenexperiment zweistündig mit Klärung der Fragen zur Auswertung durchzuführen. Das zweite und das dritte Gruppenexperiment werden einstündig geplant und die Auswertung für die Hausaufgabe vorgesehen. Parallel dazu erfolgt die zweistündige Durchführung der Einzelexperimente.
Eine Auswertungsstunde, die auch der Leistungskontrolle oder der Auswertung eines weiteren Gruppenexperiments im Unterricht dienen kann, schließt sich an. Damit bietet sich folgende Möglichkeit der Stundenverteilung an:

Thema der Stunde	Vorleistungen	Unterrichtsmittel
1. Einführung in die Fehlerbetrachtungen	Grundbegriffe der Fehlerrechnung (Ma 7) Fehlerbetrachtung zu SE 6 bis 11 und Praktikum (Phy Kl. 9/10)	Protokoll SE Kl. 11 Schülerexperimente Physik Kl. 11/12 Experimentieranordnungen zu den GE I/3 und III/3
2. Vorbereitung der Schüler auf GE und EE der Kl. 11	Praktikum Kl. 9/10 SE Kl. 9 und 10	Schülerexperimente Physik Kl. 11/12 Richtlinie für Arbeits- u. Brandschutz Organisationsplan Geräte zu den GE
3. und 4. Durchführung und Auswertung des ersten GE		Zusatzliteratur Geräte zu allen GE
5. und 6. Durchführung des zweiten und dritten GE bzw. Durchführung und Auswertung eines EE	s. 3. für EE (W) SE Kl. 11	s. 3. Geräte für EE
7. u. 8. wie 5. u. 6.		
9. u. 10. wie 5. u. 6.		
11. Auswertung des Praktikums oder Leistungskontrolle **oder** Auswertung eines GE	Abschluß aller Protokolle	Protokoll der GE und EE Schülerexperimente Physik Kl. 11/12

Organisationsplan

Für den Plan wurde eine Klassenstärke von 28 Schülern zugrundegelegt. Die Klasse wurde in 12 Gruppen zu zwei bis drei Schülern eingeteilt. Dadurch können alle Gruppen- und Einzelexperimente berücksichtigt werden.

Vorteile: Das erste Praktikum (erster Praktikumstag) wird ohne Einzelexperiment durchgeführt (Entlastung des Lehrers, Durchführung der Experimente nur in Schülergruppen). Im weiteren Verlauf des Praktikums wird ermöglicht, daß jeder Schüler entsprechend der Lehrplanforderung zwei Einzelexperimente durchführt. Diese Variante setzt allerdings voraus, daß für den Physikunterricht in jeder Woche eine Doppelstunde zur Verfügung steht, sonst treten bei der Auswertung der Einzelexperimente Probleme hinsichtlich der Bewertung auf.

Nachteile: Für das erste Praktikum werden 12 Gruppenexperimente benötigt. Das entspricht zwar der Gruppenkonzeption des Lehrplans, alle Praktikumexperimente einzusetzen, fordert aber einen hohen Aufwand an Vorbereitungsarbeit durch den Lehrer. Es ist jedoch durchaus möglich, entsprechend dem Ausstattungsgrad der Schule, manche Experimente mehrfach aufzunehmen. Dadurch ergibt sich sowohl in der Vorbereitung als auch in der Durchführung (Kontrolle der Schülertätigkeit am Experimentierplatz) eine Vereinfachung.

Um die Konzentration der Beobachtungs- und Kontrolltätigkeit des Lehrers auf die Einzelexperimente zu ermöglichen, sieht der Organisationsplan vor, in den weiteren Stunden jeweils Experimente aus einer Gruppe durchführen zu lassen. Zur Unterstützung des Lehrers können Fachhelfer eingesetzt werden, die in den Stunden 3 und 4 nochmals am Gruppenexperiment angeleitet werden.

Die Nummer des durchzuführenden Einzelexperiments wird den Schülern bei Bekanntgabe des Organisationsplanes nicht genannt, sie dient nur dem Lehrer zur Information.

Organisationsplan

Gruppe												
Schüleranzahl / Stunde	(2) 1	(2) 2	(3) 3	(2) 4	(2) 5	(3) 6	(2) 7	(2) 8	(3) 9	(2) 10	(2) 11	(3) 12
1	Einführung in die Fehlerbetrachtung											
2	Einführung in die Praktikumaufträge Fehlerbetrachtung											
3 + 4	I/1	I/2	II/3	II/4	II/1	II/2	I/3	I/4	III/1	III/2	III/3	III/4
5	EE1	EE1	EE2	EE2	EE3	EE3	EE4	EE4	I/1	I/2	I/3	I/4
6									II/1	II/2	II/3	II/4
7	EE3	EE3	I/1	I/2	I/3	I/4	EE2	EE2	EE4	EE4	EE1	EE1
8			III/1	III/2	III/3	III/4						
9	II/1	II/2	EE3	EE3	EE1	EE1	II/3	II/4	EE2	EE2	EE4	EE4
10	III/1	III/2					III/3	III/4				
11	Auswertung eines Gruppenexperiments **oder** Einschätzung des Praktikums **oder** Leistungskontrolle zum Praktikum (auch als Std. 3)											

Vorbereitung und Auswertung des Praktikums

Die Vorbereitung auf das physikalische Praktikum umfaßt neben der Bereitstellung des benötigten und im Praktikum weiterzuentwickelnden Wissens und Könnens psychologische und organisatorische Elemente. Mit dem Physikunterricht in der Abiturstufe beginnt auch die immanente Vorbereitung des Praktikums Kl. 11 bezüglich aller genannten Aspekte. Das erfordert u. a. anhand der Demonstrations- und Schülerexperimente die Kriterien für die Protokollführung zu wiederholen und, falls die Schüler erst in der Abiturstufe zusammenkommen, diese zu vereinheitlichen. Außerdem werden die Prinzipien der Messung und der Fehlerbetrachtung bereits geübt und gefestigt. Zusätzliche Übungen zu noch nicht gefestigten, für das Praktikum aber erforderlichen Schülertätigkeiten sollten im Unterricht vorgesehen werden. Das Praktikum Kl. 11 stellt mit den Forderungen von komplizierten Gruppenexperimenten und durch die Einführung der Einzelexperimente hohe Anforderungen sowohl an die Führungstätigkeit des Lehrers als auch an die Selbständigkeit der Schüler. Auch deshalb ist durch die dem Praktikum vorausgehenden Unterrichtsstunden ein solides Ausgangsniveau zur Realisierung der Ziele des Praktikums zu sichern.

Ein Schwerpunkt der Vorbereitung ist die **Systematisierungsstunde zur Fehlerbetrachtung**. Bei dem hier vorgelegten Organisationsplan für das physikalische Praktikum ist es erforderlich, daß die Schüler die Fehlerbetrachtung mit Ausnahme des ersten Gruppenexperiments entweder im Unterricht völlig selbständig (Einzelexperimente) oder als Hausaufgabe in der Schülergruppe (2. und 3. Gruppenexperiment) durchführen. Die unmittelbare Führung durch den Lehrer tritt zurück. Deshalb muß die Systematisierung der Fehlerbetrachtung deren selbständiges Beherrschen durch die Schüler sichern. Eine Voraussetzung dafür ist, daß die Schüler vor der Systematisierungsstunde die diesbezüglichen Ausführungen im Heft Schülerexperimente Physik Kl. 11/12 durcharbeiten. Unmittelbar vor dem Praktikum wird eine **Einführungsstunde in die Arbeit im Praktikum** durchgeführt. In Vorbereitung der Einführungsstunde sollten die Schüler die für sie zutreffenden Gruppenexperimente bereits kennen, um die Anleitungen so durchgearbeitet zu haben, daß gezielt Fragen gestellt werden können. Das bedingt, daß die Schülergruppen für das Praktikum rechtzeitig gebildet werden und der Organisationsplan bekannt ist.

Nach Korrektur der Protokolle durch den Lehrer wird die Durchführung einer **Auswertungsstunde** vorgeschlagen. Diese 11. Stunde des Praktikums kann aber auch zur doppelstündigen Durchführung eines zweiten Gruppenexperiments oder zur schriftlichen Leistungskontrolle über das Praktikum genutzt werden. Dabei haben sich sowohl Leistungskontrollen vor Beginn des Praktikums zum Stand der Vorbereitung als auch nach Abschluß der Experimente zur Überprüfung des Wissens und Könnens, das im Praktikum erworben und erweitert wurde, bewährt. Die Auswertung der Praktikumsergebnisse erfolgt dann als Teil einer folgenden Unterrichtsstunde.

1. Stunde: Fehlerbetrachtung

Stundenziele

Die Schüler

- kennen die Begriffe grober, absoluter, relativer, systematischer und zufälliger Fehler;
- können den absoluten Größtfehler direkt meßbarer Größen schätzen und den relativen Fehler berechnen, grobe, systematische und zufällige Fehler sowie deren Ursachen angeben;
- wissen, daß sich die Fehler von Meßwerten auf das Meßergebnis auswirken, daß der relative Fehler des Meßergebnisses größer als der größte relative Fehler der einzelnen Meßwerte ist.

Unterrichtsmittel

Klassensatz Schülerexperimente Physik Kl. 11/12
Protokolle von Schülerexperimenten Kl. 11
Experimentieranordnung zu den GE 1/3 und III/3

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Notwendigkeit der Fehlerbetrachtung, Begriffe Meßwert, Meßgröße, Meßergebnis (Sicherung des Ausgangsniveaus) **5 min**	Begründen der Notwendigkeit der Fehlerbetrachtung (Schüler, Lehrer) Kontrollieren der Beherrschung der Begriffe (UG)
Jede Messung ist mit einer Fehlerbetrachtung zu verbinden.	
(2) Fehlerquellen und Fehlerarten, Begriffe grober, systematischer und zufälliger Fehler (W) **15 min**	Nennen des Inhalts der Begriffe durch Schüler (Verwenden von Schülerexperimente Physik Kl. 11/12) Erläutern grober Fehler anhand von SE und Anleitungen zu den GE. Orientieren auf Hinweise zur Fehlersuche. Unterscheiden von zufälligen und systematischen Fehlern an Beispielen bekannter SE und DE (UG).
Zufällige Fehler werden durch meßtechnisch nicht erfaßbare und nicht beeinflußbare Änderungen der Meßbedingungen hervorgerufen. Systematische Fehler werden durch Unvollkommenheit der Meßgeräte und Meßverfahren sowie durch meßtechnisch erfaßbare Einflüsse der Umwelt hervorgerufen.	
(3) Abschätzen absoluter, Berechnen relativer (prozentualer) Fehler, Einfluß auf das Ergebnis, Meßunsicherheit (Ü) **10 min**	Üben des Abschätzens und Berechnens am Beispiel des GE I/3 (Hinweise zur Fehlerbetrachtung in Schülerexperimente Physik Kl. 11/12) Vertiefen am Beispiel des GE III/3 (Experimentieranordnung erläutern)

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
Nach Zuordnen der Fehler zu den zufälligen und systematischen Fehlern kann der absolute Fehler der Meßwerte abgeschätzt und deren relativer Fehler berechnet werden. Der relative Fehler des Meßergebnisses ist größer als der größte Fehler der Meßwerte. Die Größe mit dem größten relativen Fehler ist deshalb besonders sorgfältig zu messen und bestimmt die Anzahl der gültigen Ziffern des Meßergebnisses.	
(4) Fehlerbetrachtung 15 min	Vergleichen der Fehlerbetrachtungen des Protokolls eines SE mit den Anforderungen zu Fehlerbetrachtungen bei den GE (UG) Festigen der Begriffe (SSA)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Da die Stunde zur Einführung aller Begriffe und Verfahren nicht ausreichen würde, müssen alle Vorkenntnisse der Schüler genutzt werden. Besonders ist zu sichern, daß die Schüler die Hinweise zur Fehlerbetrachtung in Schülerexperimente Physik Kl. 11/12 vorher gründlich durchgearbeitet haben. Der Stundenverlauf folgt dann genau diesen Hinweisen. Er hilft den Schülern bei der Interpretation des Gelesenen und dessen Anwendung auf die Aufträge des Praktikums, die auch bei den Schülerexperimenten schon geübt wurde.

2. Stunde: Einführung in das physikalische Praktikum Kl. 11

Stundenziele

Die Schüler

- wissen, welche physikalischen Grundlagen sie für die Lösung der in den Gruppenexperimenten gestellten Aufgaben beherrschen und dazu reaktivieren müssen;
- kennen Prinzip und Zielstellung der Einzelexperimente;
- erwerben in der Vorbereitungsstunde die Gewißheit, daß die experimentellen Aufgaben für sie lösbar sind (ihre Gesamtpersönlichkeit wird dabei weiterentwickelt);
- kennen die Organisationsform des Praktikums und die Arbeits- und Brandschutzbestimmungen, soweit für sie nötig.

Unterrichtsmittel

Folie Organisationsplan
Klassensatz Schülerexperimente Physik Kl. 11/12
Geräte zu den GE
Protokoll eines SE
Richtlinie zum Arbeits- und Brandschutz
Physik in Übersichten

Stundenverlauf

Stundengliederung	Tätigkeiten des Lehrers und der Schüler
(1) Experimente als unerläßliches Mittel physikalischer Erkenntnisfindung (Zuordnung zum physikalischen Praktikum Kl. 11) **5 min**	Belegen der Rolle des Experiments im Erkenntnisprozeß mit Beispielen durch Schüler (UG) Hinweis auf Niveausteigerung der Schülertätigkeit im Praktikum der Abiturstufe (LV)
Die Einführung dient der positiven Stimulierung der Schüler auf eine erfolgreiche Durchführung des Praktikums.	
(2) Bekanntgabe des Organisationsplanes und der Ziele der Gruppen- und Einzelexperimente (E) **15 min**	Erläutern des Organisationsplanes (FO) Schüler notieren den für sie zutreffenden Teil Erläutern der Ziele der Gruppenexperimente I bis III Erläutern von Funktion und Ablauf der Einzelexperimente (LV)
Die Schüler erfassen die Organisationsform des Praktikums. Die Information zur Konzeption der Gruppenexperimente und zur Funktion der Einzelexperimente geht über das Organisatorische hinaus. Die wesentlichen Tätigkeiten bei den einzelnen Experimentengruppen werden erläutert.	
(3) Schrittfolge der Lösung der experimentellen Aufgabe (W) **5 min**	Wiederholen der Teilschritte des Experimentierens und Protokollierens Erläutern der Anforderungen an Inhalt und Selbständigkeit (UG)
Die Schüler erkennen Widersprüche zwischen ihrem Kenntnis- und Könnensstand und den Forderungen. Sie werden zu gezielten Fragen zum Praktikum angeregt.	
(4) Schüler stellen Fragen zu Inhalt und Form des Praktikums (E und Ü) **10 min**	Auf der Grundlage der bekannten Arbeitsaufträge Klären von Fragen (UG) Kennenlernen der Experimentieranordnungen
(5) Arbeitsschutzbelehrung (W) **10 min**	Erläutern von Auszügen aus der Richtlinie zum Arbeits- und Brandschutz (LV oder SV)

Erläuterungen zum Stundenverlauf

Die Stunde beginnt mit allgemeinen Aussagen zum Experiment und endet mit speziellen Beobachtungen an den von den Schülern in den folgenden Stunden genutzten Experimentierplätzen (bzw. -geräten). Damit soll erreicht werden, daß die Schüler ihr Experimentieren im Praktikum nicht als Beschäftigung empfinden, sondern es bewußt als Mittel zur Erkenntnisgewinnung erleben. Bei den Schülern ist die Überzeugung von der großen Rolle der kollektiven Tätigkeit für den Erfolg des physikalischen Praktikums sowie der Bedeutung der soliden Ausbildung von Wissen und Können weiterzuentwickeln.
Wenn es im vorangegangenen Unterricht bereits gelang, die Schüler mit der Arbeit unter Einsatz von Experimentieranleitungen vollständig vertraut zu machen, wenn sie also die Schritte der Anleitungen als Erkenntnisschritte anwenden können und

nicht nur formal abarbeiten (besonders zu beachten bei den Vorbetrachtungen), dann sollte die so gewonnene Zeit für die Fragen der Schüler zum Praktikum genutzt werden. Die Schülerfragen vermitteln Lehrer und Schüler, besonders auch den Fachhelfern, ein noch besseres Bild von den Schwerpunkten ihrer Praktikumstätigkeit als die Fragen des Lehrers an die Schüler. Man erkennt daraus, wo Hilfen notwendig sein werden und wo bereits eine sehr selbständige Schülerarbeit zu erwarten ist. Der Lehrer erhält dabei auch Hinweise für die Führung der Praktikumsgespräche. Die Schülerfragen können auch für Lehrer und Fachhelfer protokolliert werden, um daran deren Praktikumsarbeit zu orientieren.
Die abschließende Arbeits- und Brandschutzbelehrung wird konkret auf das durchzuführende Praktikum bezogen und aktenkundig gemacht. Sie kann auch anhand Physik in Übersichten, Anhang S. 248 bis 250, durchgeführt werden. Es ist möglich, Schüler mit einem diesbezüglichen Vortrag zu beauftragen. Zur Realisierung einiger Bestimmungen sollten Skizzen und Tafeln angefertigt werden, die im Praktikumsraum sichtbar anzubringen sind.

Gruppenexperimente

Konzeption. Wie bereits in den Praktika der Oberstufe werden auch in der Abiturstufe Praktikumsexperimente zu Gruppen vergleichbarer Zielstellung zusammengefaßt. Dadurch soll erreicht werden, daß die Schüler an möglichst verschiedenartigen Experimenten die gleichen, für die Entwicklung der Kenntnisse, des Könnens und auch der Überzeugungen wesentlichen Tätigkeiten ausführen. Die Praktikumsexperimente einer Gruppe sind so aufeinander abgestimmt, daß Vergleiche durchführbar, Zusammenhänge sichtbar und Querschnittsbetrachtungen möglich werden. Den Schülern sind die Ziele der Gruppe mitzuteilen. Die Ergebnisse der experimentellen Aufgabe werden dadurch von ihnen besser in das System der physikalischen Kenntnisse eingeordnet, die Kenntnisse stärker gefestigt. Das Übergreifende, Allgemeine und Wesentliche ihrer Tätigkeit im physikalischen Praktikum wird so den Schülern bewußt. Sie gewinnen die Überzeugung, daß sie durch gründliche Auseinandersetzung mit der Lösung einer experimentellen Aufgabe Fähigkeiten zum Lösen einer Vielzahl anderer, zunehmend schwierigerer Aufgaben erwerben.
Als Themen der Gruppen werden stets sowohl stoffliche Ziele aus dem Lehrplan Physik Kl. 11 als auch Denk- und Arbeitsweisen der Physik angegeben. Beides tritt gemeinsam in jeder Gruppe auf und soll in einer Einheit geübt und entwickelt werden.

Gruppe I

Aufnahme von Meßreihen zur Bestimmung mechanischer Größen

Mit der Konzipierung dieser Gruppe werden drei Ziele verfolgt:

1. Das Messen mechanischer Größen wird geübt. Die Schüler erkennen, daß Exaktheit und Konzentration auf den Meßvorgang den Erfolg der Messung sichern. Die an sich einfachen Meßmethoden dienen dazu, die Schüler erkennen zu lassen, wie mit einfachen Mitteln unter voller Nutzung der erreichbaren Genauigkeit Erkennt-

nisse gewonnen werden. Sie lernen, während des Messens bereits auf die Fehlereinflüsse zu achten, vor allem grobe Fehler zu vermeiden. Dadurch wird auch das planvolle Herangehen an die zu lösende Aufgabe gefördert.
2. Die für die klassische Physik wesentlichen Kenntnisse der Mechanik werden gefestigt. Damit wird das Fundament ausgebaut, auf dem auch das Erfassen von Zusammenhängen der Mikrophysik möglich ist.
3. Mit den bereits aus Kl. 10 zur Verfügung stehenden mathematischen Hilfsmitteln werden gesicherte Kenntnisse und Fertigkeiten im Anwenden der Grundrechenarten mit Variablen, im Aufstellen und Lösen von Gleichungen mit Variablen und im Rechnen mit reellen Zahlen gefördert und gefestigt. Der höchste Schwierigkeitsgrad liegt dabei im Bereitstellen und Umformen der erforderlichen Größengleichungen in den Vorbetrachtungen und in der Bezugnahme darauf in der Auswertung.
Fragen der Schüler zu den Experimenten der Gruppe sind vor allem im Zusammenhang mit den geforderten Herleitungen zu erwarten. Die nachfolgenden Erläuterungen zu den Experimenten nehmen darauf Bezug.

I/1 Ermitteln der Wurfbahn von Körpern

Zu den Vorbetrachtungen

Zu 2) I $x = v \cdot t$ I in II $y = \frac{g}{2v^2} \cdot x^2$

II $y = \frac{g \cdot t^2}{2}$

Zu 3) Herleitung der Gleichung für die Geschwindigkeit v_0, mit der die Kugel die geneigte Bahn verläßt, auf zwei Wegen:

3.1.) Kraftansatz (Die Hinweise dazu wurden gegeben, weil die Schüler sonst versuchen, v_0 aus der Kurvengleichung zu ermitteln, was für die theoretisch zu ermittelnde Kurve ungeeignet ist)

$F = F_H$ mit $F = m \cdot a$ und $F_H = m \cdot g \cdot \frac{h}{l}$

mit $l = \frac{a}{2} \cdot t_0^2$ und $t_0 = \frac{v_0}{a}$ (t_0: Zeit zum Durchlaufen der geneigten Ebene)

$v_0 = \sqrt{2g \cdot h}$

3.2.) Energieansatz

$E_{pot} = E_{kin}$ mit $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ und $E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$

$v_0 = \sqrt{2g \cdot h}$

Zu den Geräten

Der Einsatz der Wasserwaage fördert das polytechnische Können der Schüler und unterstützt die Exaktheit der Messungen. Das Lot sichert, daß die Abwurfstelle bei $x = 0$ liegt.

Die Apparatur sollte fertig aufgebaut vorgegeben werden, um zeitliche Überforderungen der Schüler zu vermeiden. Die horizontale Bahn sollte etwa 10 cm lang sein, um das Springen der Kugel zu vermeiden.

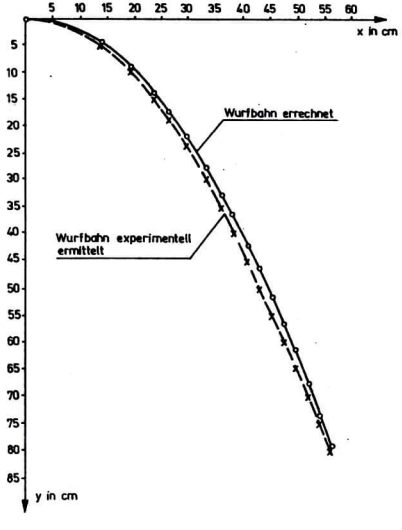
Zum Ablauf des Experiments

Das Experiment erfordert je Höhe h der geneigten Ebene 16 Messungen, wobei die Kugel zu jeder Tiefe y dreimal abläuft. Da nicht nach jedem Ablauf der Klebestreifen gelöst wird, sondern eventuell bei jeder Tiefe, möglicherweise aber auch nach Abschluß des Experiments mit einer Höhe h, ist die Aufnahme zweier Meßreihen, wie in der Anleitung vorgesehen, für die Schüler zeitlich durchführbar. In Abhängigkeit von der Klassensituation bzw. auch von der Arbeitsweise einzelner Schülergruppen kann das Experiment nur mit einer Höhe h gefordert werden. Die Durchführung und Auswertung mit zwei Höhen kann dann als Zusatzaufgabe gestellt werden.
Zu beachten ist, daß die Schüler die Höhe h der geneigten Ebene genau einstellen und auch stets den Ablaufpunkt der Kugel in der Höhe h wählen.

Zur Auswertung

Es ist nötig, vor dem Experiment zu kontrollieren, ob die Schüler das Problem der theoretischen und der experimentellen Ermittlung der Kurve richtig erfaßt haben. Andernfalls wird die gesamte Auswertung sinnlos. Bei Erfassen des Problems kann

Bild 217/1



man hier gute Übereinstimmung der theoretisch und der experimentell ermittelten Wurfbahnen von den Schülern erwarten (vgl. Beispiel zu $h = 10$ cm). Die theoretisch ermittelte Kurve verläuft etwas flacher als die experimentell ermittelte. Mit Hilfe der Fehlerbetrachtung sollen die Schüler erklären, warum v_0 kleiner als theoretisch berechnet ist. Als Ursache müssen sie die Reibung der Kugel auf der horizontalen Bahn erkennen (weitere Ursache: Rotationsenergie der Kugel, Kl. 12).
Auf die Anlage des Koordinatensystems sind die Schüler zweckmäßig nochmals hinzuweisen.
In der Auswertung kann von den Schülern gefordert werden, auch die praktische Bedeutung der Wurfbahnen zu erläutern. Damit wird der wehrpolitische Aspekt im physikalischen Praktikum beachtet.

Einschätzung

Die Durchführung des Experiments füllt die Praktikumstunde aus. Die Schüler erleben aber bei rationeller und konzentrierter Arbeit den Erfolg, gute Übereinstimmung von Theorie und Praxis zu erhalten. Das Experiment ist deshalb zur Durchführung im Praktikum besonders zu empfehlen.

I/2 Bestimmen von Wurfgeschwindigkeiten

Zu den Vorbetrachtungen

Zu 2) $v_0 = f(h)$

Energiesatz: $E_{pot} = E_{kin}$ mit $E_{pot} = m \cdot g \cdot h$ und $E_{kin} = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$

$$v_0 = \sqrt{2g \cdot s_h}$$

Zu 3) $v_0 = f(t_w)$

Weg-Zeit-Gesetz des senkrechten Wurfs: $s = -\frac{g}{2} \cdot t^2 + v_0 \cdot t$ mit $s = 0$ und $t = t_w$

folgt $t_{w1} = 0$ und $t_{w2} = \frac{2v_0}{g}$ sowie $\underline{\underline{v_0 = \frac{g}{2} \cdot t_w}}$

Zu 4) Der Nachweis der Identität stellt relativ hohe Anforderungen an das mathematische Können der Schüler, er sollte aber im Interesse der Konzeption von Gruppe I gefordert werden. (Notwendig sind Hinweise zum Lösungsweg für die Schüler, denen die selbständige Lösung nicht gelingt, und besondere Belobigung der Schüler, die das Problem selbständig lösen.)

Weg 1: Ausgehen von der Gleichung für die Wurfhöhe

(1) $s_h = v_0 \cdot t_h - \frac{g}{2} \cdot t_h^2$ und (2) $v_0 = \sqrt{2g \cdot s_h}$

aus (1) folgt

(3) $t_h^2 - \frac{2v_0}{g} \cdot t_h + \frac{2s_h}{g} = 0$

aus (2) folgt

$s_h = \frac{v_0^2}{2g}$

(2) eingesetzt in (3) folgt (4) $t_h^2 - \frac{2v_0}{g} \cdot t_h + \frac{v_0^2}{g^2} = 0$ mit der Lösung $t_h = \frac{v_0}{g}$ und, da $t_w = 2t_h$, folgt $v_0 = \frac{g}{2} \cdot t_w$

Weg 2: Ausgehen von der Gleichung für die Wurfhöhe

$s_h = v_0 \cdot t_h - \frac{g}{2} \cdot t_h^2$ und $v_0 = \frac{1}{2} g \cdot t_w$ mit $t_w = 2t_h$.

Man erhält $s_h = \frac{v_0^2}{2g}$ und

$\underline{\underline{v_0 = \sqrt{2g \cdot s_h}}}$

Weg 3: Ausgehen von der Gleichung für die Wurfhöhe

(1) $s_h = v_0 \cdot t_h - \frac{g}{2} \cdot t_h^2$ und (2) $v_0 = \sqrt{2g \cdot s_h}$

(1) eingesetzt in (2) folgt (3) $v_0 = \sqrt{2g\left(v_0 \cdot t_h - \frac{g}{2} \cdot t_h^2\right)}$ mit der Lösung $v_0 = g \cdot t_h$,

aus der mit $t_h = \frac{1}{2} t_w$ folgt: $v_0 = \frac{1}{2} g \cdot t_w$

Zu den Geräten

Die Schüler sind auf die schonende Benutzung der Wurfgeräte hinzuweisen.
Die bei neueren Federwurfgeräten auftretende Differenz zwischen Rohrende und Bolzenstand beeinflußt die Meßergebnisse nicht wesentlich. Es ist aber positiv zu bewerten, wenn Schüler die damit verbundene Änderung der Höhe h erkennen.

Zum Ablauf des Experiments

Das Experiment ist für die Schüler sowohl bezüglich der Zeit- als auch der Höhenmessung schwierig. Schnelles und trotzdem exaktes Beobachten wird gefordert. Das Experiment fördert das Reaktionsvermögen der Schüler. Die Schüler schätzen meist ein, daß ihnen die Zeitmessung besser gelingt als die Höhenmessung. Vergleiche von Meßergebnissen mit den Vorgaben der Bedienungsanleitung zeigen aber, daß die Höhenmessung zu genaueren Ergebnissen führt. Durch die Fehlerschätzung gelangen die Schüler auch ohne Kenntnis der Anleitung zur gleichen Einsicht ($\delta_t \approx 30\%$ (Handstoppung), $\delta_h \approx 5\%$).
Da das Wurfgerät Kontakte zum Anschließen des Polydigit (SKUS Nr. 08221089) besitzt, kann die Handstoppung durch elektronische Zeitmessung ersetzt werden.
Es ist zu verfahren wie in der Versuchsanleitung zum Digitalzähler Polydigit 1, S. 89 bei 3.3.7. beschrieben. Den Schülern muß das Vorgehen erläutert werden. Es erfordert einige Übung, bis auch beim senkrechten Wurf das Auftreffen der Kugel auf der Zielplatte erreicht wird. Dazu ist eine leichte Neigung des Wurfgerätes erforderlich (Fehlerquelle). Wie der Vergleich in der folgenden Tabelle zeigt, sind die Ergebnisse genauer als bei Handstoppung, allerdings ist die experimentelle Tätigkeit der Schüler auch komplizierter und umfangreicher.

Zur Auswertung

Auswertbar sind nur Messungen mit den Stufen 2 und 3 (s_h und t_w sind bei Stufe 1 zu klein, s_h ist bei Stufe 4 zu groß). Die Anzahl der Messungen beträgt dann 20.

Beispiel zu Schülermessungen

Stufe	v_0 (nach Anleitung)	v_0 (über h)	v_0 (über t_w) mit Handstoppung	v_0 (über t_w) mit Polydigit
2	$2{,}5\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$	$2{,}3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$	$1{,}3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$	$2{,}2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$
3	$3{,}5\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$	$3{,}4\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$	$3{,}1\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$	$3{,}2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

Als Praxisbezug können die Schüler im Protokoll den Raketenstart vergleichend erläutern.

Einschätzung

Das Experiment wird von den Schülern bei entsprechenden Hinweisen auf die Besonderheit der Geräte gut durchgeführt. Die hier geringere Anzahl von Messungen wird durch die hohen Anforderungen an die schnelle und exakte Beobachtung, die nicht immer sofort gelingt, ausgeglichen, so daß im Vergleich zu den anderen Experimenten der Gruppe etwa gleiche zeitliche Auslastung besteht. Das Experiment entspricht sehr gut der Konzeption der Gruppe und bietet gute Möglichkeiten, die Fehlerbetrachtung zu üben. Es sollte trotz geräte- und meßtechnischer Schwierigkeiten einbezogen werden.

I/3 Ermitteln der Geschwindigkeit einer Kugel in Zusammenhang mit Stoßvorgängen

Zu den Vorbetrachtungen

Zu 2) $m \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{u}_1 + m_2 \cdot \vec{u}_2$ Impulserhaltungssatz für System aus zwei Körpern unter der Annahme, daß die gemeinsame Bahn der stoßenden Massen eine Gerade und der Stoß unelastisch ist:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot u$$

Unter Einführung der in der Aufgabe genannten Bedingungen für die Pendelkörper vor dem Stoß folgt

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot u$$

Zu 3) Aus $\frac{1}{2}(m_1 + m_2) \cdot u^2 = (m_1 + m_2) \cdot g \cdot h$ folgt $u = \sqrt{2g \cdot h}$ und damit

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot \sqrt{2g \cdot h}$$

Zu 4) Aus $l^2 = y_{max}^2 + (l - h)^2$ folgt $h \approx \frac{y_{max}^2}{2l}$ und damit $v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot y_{max} \cdot \sqrt{\frac{g}{l}}$

Aus $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$ folgt $\sqrt{\frac{g}{l}} = \frac{2\pi}{T}$ und damit $v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot y_{max} \cdot \frac{2\pi}{T}$

Zu den Geräten

Das Demonstrationsstativmaterial eignet sich zum Aufbau der Experimentieranordnung besser als das der SEG, da es weniger mitschwingt.

Zum Ablauf des Experiments

Die Messungen sind bezüglich der Schwingungsdauer T zeitaufwendig und fordern bezüglich der Amplitude y_{max} schnelles und exaktes Beobachten sowie genaues Einhalten von Bedingungen. Dazu sollte den Schülern empfohlen werden, die Auslenkhöhe für $\alpha = 10°$ zu berechnen.

Zur Auswertung

Beispiel 1	Beispiel 2
mit $m_1 = 500$ g	$m_1 = 500$ g
$m_2 = 270$ g	$m_2 = 324$ g
werden $\overline{T} = 2{,}06$ s	$\overline{T} = 1{,}96$ s
$\overline{y_{max}} = 9{,}65$ cm	$\overline{y_{max}} = 4{,}5$ cm

gemessen und daraus errechnet

$v_1 = 45{,}4\ \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	$v_1 = 24\ \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$

Eine Fehlerbetrachtung zu diesem Experiment ist in Schülerexperimente Physik Kl. 11/12 erläutert.
Von den Schülern kann eine Analogiebetrachtung zur Bestimmung von Geschoßgeschwindigkeiten gefordert werden.

Einschätzung

Das Experiment ist zur Aufnahme in das Praktikum besonders zu empfehlen, weil es bei gründlicher Vorbereitung durch die Schüler ohne besondere Schwierigkeiten durchzuführen und auszuwerten ist. Es führt zu den theoretisch zu erwartenden Ergebnissen, was die Schüler durch Beobachten beim Ablauf des Experiments selbst einschätzen können.

1/4 Bestimmung von Stoßkraft und Stoßdauer einer frei fallenden Kugel

Zu den Vorbetrachtungen:

Zu 2) $r_2^2 = x \cdot (2r_1 - x)$

Zu 3) $x^2 - 2r_1 \cdot x + r_2^2 = 0$

mit der praktisch möglichen Lösung

$$x = r_1 - \sqrt{r_1^2 - r_2^2} \quad .$$

Zu 4) $W_s = E_{pot}$

$F_s \cdot x = m \cdot g \cdot h$ mit h: Abwurfhöhe

$$F_s = \frac{m \cdot g \cdot h}{x} \qquad (1)$$

Zu 5) $F_s \cdot t_s = m \cdot v$ mit $v = \sqrt{2g \cdot h}$

$$t_s = \frac{m \cdot \sqrt{2g \cdot h}}{F_s}$$ und mit (1)

$$t_s = \sqrt{\frac{2}{g \cdot h}} \cdot x$$

Die Herleitung der Gleichungen für Stoßkraft und Stoßdauer bereitet den Schülern Schwierigkeiten, sie benötigen meist Hinweise.

Zu den Geräten

Es werden zwei unterschiedliche Kugeln (Stahlkugel, Plastkugel) vorgesehen, um dem Meßaufwand bei diesem Experiment den erforderlichen Umfang zu geben. Die Schüler sind dann ähnlich zeitlich belastet wie durch die anderen Experimente dieser Gruppe. Zu beachten ist, daß das Stativ die genaue Fixierung der Abwurfhöhe h ermöglicht. Die Benutzung des Meßschiebers trägt zur Erhöhung der Meßgenauigkeit und zur polytechnischen Bildung der Schüler bei. Die Stahlplatten können dem Absorptionsplattensatz Nr. 58451401 entnommen werden.

Zum Ablauf des Experiments

Beim Berußen der Stahlplatte sind die Schüler auf die entsprechenden Bestimmungen des Arbeits- und Brandschutzes hinzuweisen. Abgebrannte, aber noch glühende Streichhölzer können Brandursachen bilden. Es sind deshalb brandsichere Behälter bereitzustellen. Während bei der Massebestimmung eine Messung (eventuell noch eine Kontrollmessung) ausreicht, sollten die Durchmesser von Kugel und Berührungskreis mehrfach bestimmt werden (Kugeln können unrund sein, Abplattung am besten auf der Stahlplatte meßbar). Bei der Messung der Abwurfhöhe ist die Dicke der Stahlplatte zu beachten! Es ist auf das einmalige Auftreffen der Kugel auf der Platte zu achten, damit der Durchmesser des richtigen Berührungskreises gemessen wird.

Zur Auswertung

mit einer Plastkugel		mit einer Stahlkugel	
	$m = 24$ g		$m = 62$ g
	$\bar{d}_1 = 3$ cm		$\bar{d}_1 = 2{,}5$ cm
	$h = 30$ cm		$h = 30$ cm
wurde	$\bar{d}_2 = 2{,}4$ mm	wurde	$\bar{d}_2 = 2$ mm
und daraus	$x = 0{,}05$ mm	und daraus	$x = 0{,}04$ mm
	$F_s = 1400$ N		$F_s = 4600$ N
	$t_s = 40\ \mu s$		$t_s = 30\ \mu s$

ermittelt. Durch die Schüler kann hier nur die Berechnung der relativen Größtfehler der Meßgrößen erfolgen. Den Einfluß der Fehler auf die Meßergebnisse können sie nicht abschätzen.

Einschätzung:

Wenn auf die notwendige Führung der Schüler bei den Vorbetrachtungen, auf die Forderung einer ausreichenden Anzahl von Messungen und auf Hinweise zur Exaktheit des Messens, die erst einen sinnvollen Betrag für x ermittelbar machen, geachtet wird, trägt das Experiment gut zur Realisierung der Konzeption der Gruppe I bei.

Gruppe II

Bestimmung physikalischer Größen bei weitgehend selbständiger Erarbeitung theoretischer Grundlagen

Die bezüglich der Aufgabenstellung an unterschiedlichen Stoffgebieten orientierten Experimente haben auch physikalische Sachverhalte zum Inhalt, die im Unterricht nicht unmittelbar Gegenstand der Betrachtung waren.
Die Bezüge zum Unterrichtsstoff sind so zu sehen:
II/1 Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Schallwelle in Luft — Einführung und Anwendung des Begriffs der stehenden Welle.
II/2 Abschätzen eines Moleküldurchmessers — unterstützt die kinetisch-statistische Betrachtungsweise durch Erarbeitung von Vorstellungen über die Abmessung eines Moleküls.
II/3 Untersuchung von einfachen und gekoppelten mechanischen Schwingern unter Einbeziehung der Dämpfung — reaktiviert die Kenntnisse von Schwingungen für das Stoffgebiet 3. Optik Klasse 11.
II/4 Bestimmung des Spannungskoeffizienten γ von Luft — Ergänzt die im Unterricht erarbeiteten Kenntnisse vom thermodynamischen Verhalten realer Stoffe. Im Unterricht wird explizit nur der Volumenausdehnungskoeffizient von Flüssigkeiten als temperatur- und stoffabhängige Konstante erarbeitet. Die Schüler müssen sich mit Hilfe der Gesetze des idealen Gases selbständig den Begriff des Spannungskoeffizienten γ für Gase erarbeiten.
Die selbständige Erarbeitung theoretischer Grundlagen ist eine wesentliche Vorbereitung für die Orientierung der Schüler in ihrer späteren Hochschularbeit und Berufspraxis. Sie entwickeln dabei in der Tätigkeit Elemente des Schöpfertums. Bei den ersten Schritten auf diesem Weg im Rahmen der allgemeinbildenden Schule

bedürfen sie der Unterstützung. Diese wird auch durch die Vorbetrachtungen in den Experimentieranleitungen gegeben. Um uneffektives Suchen nach Zusatzliteratur zu vermeiden, sind die Schüler darauf hinzuweisen, daß die Erweiterung des Wissens mit Hilfe ihrer Lehrbücher Physik, dem Tafelwerk, Physik in Übersichten und dem Wissensspeicher erfolgen kann. Sollten Fragen offen bleiben, wird empfohlen, diese vor der ersten Praktikumstunde, eventuell in einer Konsultation, zu klären, um die Kontinuität der Arbeit am Experimentierplatz zu sichern.

II/1 Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Schallwelle in Luft

Zu den Vorbetrachtungen

Zu 3) Aus der Skizze zu 2 folgt, daß jede Summe aus $\frac{\lambda}{4}$ und einem ganzzahligen Vielfachen von $\frac{\lambda}{2}$ eine Resonanzlänge ist. Das kann auch als ungeradzahliges Vielfaches von $\frac{\lambda}{4}$ ausgedrückt werden.

zu 4) Aus $c = \lambda \cdot f$ folgt mit 3. der Vorbetrachtung $c = \frac{4 \cdot l \cdot f}{2n + 1}$

zu 5) $f = \frac{(2n + 1) \cdot c}{4l}$; die Begründung erfolgt über die Resonanzbedingung $f_R = f_0$.

Zu den Geräten

Als Glasrohr kann die Kundtsche Röhre (SKUS Nr. 083501 53) verwendet werden. Man sollte sie mit einem wassergefüllten Ausgleichsgefäß komplettieren, da dabei die Bruchgefahr geringer ist als beim Einführen eines Stempels. Damit werden die Lebensdauer der Experimentieranordnung und die Einhaltung des Arbeitsschutzes verbessert.

Zum Ablauf des Experiments

In der Experimentieranleitung wurde auf die zur Vermeidung störender Einflüsse am Rohrende günstige Differenzbildung aus zwei Resonanzlängen verzichtet. Messung und Auswertung werden für die Schüler dadurch überschaubarer, die Ergebnisse befriedigen trotzdem. Außerdem können auch kürzere Rohre verwendet werden, die nur die Messung einer Resonanzstelle ermöglichen. Sollten die Voraussetzungen für die Messung mehrerer Resonanzstellen gegeben sein, können die Schüler mit wenigen Hinweisen dazu angeleitet werden. Darin besteht eine Möglichkeit der differenzierten Arbeit im physikalischen Praktikum.

Zur Auswertung

Mit einem Glasrohr von 600 mm Länge und unter Verwendung nur einer Resonanzstelle wurden bei einer Temperatur von $\vartheta = 19$ °C eine Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalles $v = 307\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$ (Diagramm: $342\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$) und damit als Frequenz der zweiten Stimmgabel $f = 465$ Hz (etwas unter dem tatsächlichen Wert liegend)

ermittelt. Zur Längenmessung wurde infolge der Einstellung nach Gehör ein absoluter Fehler $\Delta l = \pm 10$ mm geschätzt. Dieser Fehler begründet im Zusammenhang mit den störenden Einflüssen am Rohrende die Abweichungen.

Einschätzung

Das Experiment ist einfach durchzuführen und auszuwerten. Es ist aus dieser Sicht gut für die Aufnahme in das Praktikum geeignet. Dabei müssen aber zwei Probleme beachtet werden:

- Die stehenden Wellen sind nicht Lehrplanstoff, die theoretischen Grundlagen müssen von den Schülern, unterstützt durch die Vorbetrachtungen und den Wissensspeicher Physik S. 128/129, selbst erarbeitet werden.
- Bei der Durchführung finden die Schüler die Resonanzstelle nur, wenn große Ruhe im Raum herrscht. Man sollte die Experimentieranordnung möglichst abseits von den übrigen Plätzen aufbauen.

II/2 Abschätzen eines Moleküldurchmessers

Zu den Vorbetrachtungen

Zu 3) Gleichungen zur Berechnung von d_x (Durchmesser des Ölsäuremoleküls)

(1) Volumen des Öltropfens, bestimmt durch Auszählen und Beachten des Mischungsverhältnisses

$$V = \frac{V_0 \cdot z}{n_1}$$

V_0: für Tropfenanzahlbestimmung gewähltes Volumen
n_1: ermittelte Tropfenanzahl
z: Mischungsverhältnis Ölsäure zu Leichtbenzin

(2) Durchmesser des Ölsäuremoleküls, bestimmt durch zylindrischen Ölfleck

$$V \cdot n_2 = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot d_x$$

n_2: aufgebrachte Tropfenanzahl

$$d_x = \frac{4 V_0 \cdot z \cdot n_2}{\pi \cdot d^2 \cdot n_1}$$

Zu den Geräten

Das Gemisch kann der Lehrer selbst herstellen (Ölsäure gehört zu den Vorräten für den Chemieunterricht, auch Speiseöl ist verwendbar). Zu beachten ist, daß zum Auszählen und Aufbringen der Tropfen dieselbe oder zwei vorher als gleich überprüfte Pipetten (Glasgerätesatz — SEG) benutzt werden. Die Fotoschale sollte nicht zu klein gewählt werden, weil sonst Messungen mit mehr als einem Tropfen unmöglich werden. Vorgeschlagen wird das im Handel befindliche Format 500 mm × 600 mm. Lykopodium ist eventuell in der Apotheke erhältlich. Es eignet sich besser als Schwefelpuder (klumpt nicht). Ohne das Bestreuen ist die Sichtbarkeit des Ölflecks eingeschränkt.

Zum Ablauf des Experiments

Die Schüler sind, wenn auch die Anleitung bereits darauf hinweist, nochmals zu belehren, daß kleinste Mengen Lykopodium oder Schwefelpuder ausreichen, um den Fleck zu markieren. Das Beachten des Hinweises zum Auswaschen der Schale sichert überhaupt erst die Möglichkeit, mehr als eine Messung durchzuführen. Wenn noch Spülmittelreste in der Schale sind, entspannt sich der Öltropfen auf der Wasseroberfläche sofort, die Schicht zerreißt. Sind Ölreste vorhanden, zieht sich der nächste Tropfen zusammen, es entsteht keine monomolekulare Schicht.
Rationelles Arbeiten (Auszählen der Tropfen nach der ersten Messung des Durchmessers während des Auswaschens, Auswerten der Messungen in weiteren Waschphasen) sichert die zeitliche Lösbarkeit der experimentellen Aufgabe.

Zur Auswertung

Mit einem Mischungsverhältnis von Ölsäure zu Leichtbenzin 1 : 100 wurden bei einem Tropfen ($V = 2 \cdot 10^{-5}$ cm³) Kreisdurchmesser $\bar{d}_1 = 22{,}8$ cm und Moleküldurchmesser $d_x = 4{,}9 \cdot 10^{-7}$ mm, mit zwei Tropfen Kreisdurchmesser $\bar{d}_2 = 28$ cm und Moleküldurchmesser $d_x = 6{,}4 \cdot 10^{-7}$ mm bestimmt. Damit wird die Größenordnung des Durchmessers der Ölsäuremoleküle ermittelt. Auf eine Fehlerabschätzung wurde verzichtet, um die Schüler nicht zu überfordern.

Einschätzung

Jede Schülergruppe ist auf das Einhalten der Vorschriften für das Spülen hinzuweisen. Unsauberes Arbeiten kann hier das Praktikumsergebnis der eigenen und folgender Gruppen gefährden. Bei Beachtung der Hinweise trägt das Experiment besonders zur Erziehung zur Sorgfalt bei.

II/3 Untersuchung von einzelnen und gekoppelten mechanischen Schwingern unter Einbeziehung der Dämpfung

Zu den Vorbetrachtungen

Die Fragen sind hier, verglichen mit denen bei anderen Experimenten dieser Gruppe, umfangreicher, aber mit Hilfe von Physik in Übersichten durch die Schüler ohne große Schwierigkeiten zu beantworten. Nur so kann erreicht werden, daß die Schüler nach dem Erarbeiten der Vorbetrachtungen die Gesamtheit des für die Lösung der experimentellen Aufgabe benötigten Wissens reaktiviert haben.

Zu den Geräten

Trotz der Vielzahl der Geräte (vorwiegend Stativmaterial) ist der Aufbau der Experimentieranordnung einfach und wird von den Schülern zusammen mit den Messungen zeitlich gut bewältigt. Sollten dagegen aus der Klassensituation heraus Bedenken bestehen, kann die Anordnung aufgebaut vorgegeben werden. Als Pendelkörper des Resonators muß ein Nichteisenmetall (z.B. Aluminium) verwendet werden, weil sonst die Dämpfung nicht nur über Wirbelströme erfolgt und dann während der Dämpfung eine starke Frequenzänderung auftritt.

Zum Ablauf des Experiments

Die Schüler sollten bei diesem Experiment auf die auftretenden geringen Änderungen der Amplitude hingewiesen werden, weil sie diese sonst übersehen und die experimentelle Aufgabe für nicht lösbar halten. Die Kopplung sollte stets auf gleicher Höhe gehalten werden. Sollten die Probleme bei elektromagnetischer Dämpfung für die Schüler zu groß sein, ist auch die Dämpfung des Pendels in einem Behälter mit Wasser möglich.

Zur Auswertung

Gesicherte Ergebnisse werden möglich, wenn es den Schülern gelingt, die Ablesefehler der Amplituden (zufällige Fehler) gering zu halten.

n	$y_{max\,1}$ in mm	$y_{max\,2}$ in mm
1	147	143
2	145	138
3	143	135
4	141	133
5	139	130
6	135	128
7	132	126
8	130	124
9	128	121
10	125	117

l_E in m	$y_{max\,1}$ in mm	$y_{max\,2}$ in mm
0,80	55	50
0,85	75	70
0,90	195	100
0,95	280	150
1,00	300	180
1,05	200	120
1,10	100	85
1,15	80	70
1,20	75	45

Einschätzung

Das Experiment fällt den Schülern schwer, weil die zu beobachtenden Veränderungen der Amplituden kleiner sind, als sie erwarten. Es sollte bei differenziertem Einsatz im Praktikum eventuell besonders leistungsstarken Gruppen übertragen werden.

II/4 Spannungskoeffizient von Luft

Zu den Vorbetrachtungen

Zu 1) Hier soll die phänomenologische Betrachtungsweise auf das ideale Gas angewendet werden: Ein Gas heißt ideal, wenn es streng die Zustandsgleichung und die Gesetze für die Zustandsänderungen eines idealen Gases erfüllt. Im Wissen der Schüler ist meist die mikrophysikalische Erklärung des Modells ideales Gas anwendungsbereit, die hier aber nicht benötigt wird.

Zu 5) $\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1}$ mit $T_i = \frac{1}{\gamma} + \vartheta_i \qquad (i = 0; 1)$

$$\frac{p_0}{\frac{1}{\gamma} + \vartheta_0} = \frac{p_1}{\frac{1}{\gamma} + \vartheta_1}$$

Umstellen nach γ:

$$\frac{1}{\gamma} \cdot (p_a - p_e) = p_e \cdot \vartheta_a - p_a \cdot \vartheta_e$$

$$\gamma = \frac{p_e - p_a}{p_a \cdot \vartheta_e - p_e \cdot \vartheta_a}$$

Zu den Geräten

Es gibt zwei Möglichkeiten, das Experiment durchzuführen:
1. Das Zusammensetzen der Apparatur aus Stativmaterial, Glasgefäßen, Stopfen und Schlauchverbindungen.
2. Die Nutzung des p-V-T-Gerätes (SKUS Nr. 08320889). Der Aufbau wird fertig vorgegeben.
Es wird vorgeschlagen, die zweite Möglichkeit für das Praktikum der Kl. 11 zu wählen. Bei der 1. Apparatur ist es schwer, undichte Stellen zu vermeiden, die Ausgangswerte zu markieren, die Meßwerte abzulesen und zu einigermaßen die Größenordnung des Spannungskoeffizienten treffenden Ergebnissen zu gelangen. Außerdem fordert der Aufbau viel Zeit. Auch bei Vorgabe der fertigen Apparatur haben die Schüler noch Schwierigkeiten im Umgang mit dieser.
Auch die 2. Apparatur ist störanfällig (Entlüfterschraube schließt nach mehrfacher Benutzung nicht mehr, Heizwendel brennt durch, wenn der Rührer nicht eingeschaltet ist, die Rändelschrauben, die den Deckel auf dem vollständig zu füllenden Wassergefäß halten, lockern sich, der Rührermotor hat nur eine begrenzte Lebensdauer). Man sollte deshalb ein Ersatzgerät an der Schule haben. Die Schüler sind besonders auf den sorgfältigen Umgang mit dem Gerät und dessen vorsichtige Bedienung hinzuweisen. Das Stromversorgungsgerät ist so auszuwählen, daß eine Belastbarkeit bis 5 A möglich ist.

Zum Ablauf des Experiments

Der Lehrer muß den Luftdruck p_a vorgeben, wenn kein Quecksilberbarometer vorhanden ist.
Ein Problem bei der Aufnahme diskreter Meßwerte, wie sie die experimentelle Aufgabe fordert, ist das rechtzeitige Abschalten der Heizung vor dem Erreichen des nächsten Temperaturwertes. Die Wendel heizt etwas nach. Zumindest sollten die Schüler das beachten und in die Fehlerbetrachtung einbeziehen. Bei Beachtung der Hinweise werden aber genaue Meßwerte abgelesen und gute Meßergebnisse ermittelt. Das U-Rohr (Glasröhren mit Schlauchverbindung) ist zunächst bei Gleichstand $\Delta p = 0$, $\Delta V = 0$ zu füllen, dabei ist das Glasrohr der Δp-Skale möglichst tief zu schieben. Durch Anheben des Δp-Rohres muß dann vor jeder Messung das Ausgangsvolumen wieder hergestellt und die Druckänderung Δp abgelesen werden. Bei Beginn unter Zimmertemperatur können so etwa fünf Messungen durchgeführt werden.

Zur Auswertung

Der Tabellenwert $\gamma = 1/273\ \mathrm{K}^{-1}$ bzw. als Dezimalbruch $\gamma = 0{,}0036\ \mathrm{K}^{-1}$ wird in zu erwartender Näherung erreicht. Schüler bestimmen aus fünf Messungen $\bar{\gamma} = 0{,}0045\ \mathrm{K}^{-1}$.

Es überwiegen hier, Güte und Dichtheit der Apparatur vorausgesetzt, die zufälligen Fehler, resultierend aus dem Abschalten der Heizwendel sowie dem Anheben und Ablesen der Wassersäulen, während am Thermometer nur geringe Ablesefehler auftreten.

Einschätzung

Nach II/1 bereitet II/4 den Schülern die wenigsten Probleme bei der Durchführung der Experimente der Gruppe II. Bei diesem Experiment erkennen die Schüler besonders deutlich die Möglichkeit der selbständigen Erweiterung ihres Wissens.

Gruppe III

Bestimmung physikalischer Größen aus der Thermodynamik unter Verwendung von Versuchsanleitungen mit verminderter Ausführlichkeit

Die Experimente der Gruppe III zur Thermodynamik basieren auf dem erarbeiteten Stoff. Die zu messenden Größen spezifische Wärmekapazität von Flüssigkeiten, Längenausdehnungskoeffizient von Festkörpern und spezifische Schmelzwärme des Eises werden als Größen im Unterricht eingeführt, erläutert und angewendet. Demonstrations- und Schülerexperimente dienten bereits der Festigung. Dadurch ist es möglich, den Schülern Teilschritte der experimentellen Aufgabe selbständig zu übertragen. Es werden für die Experimente der Gruppe mit Ausnahme von III/3, wo die Anordnung vorgegeben werden muß, die gleichen Schritte ohne Anleitung gefordert, damit im weiteren unabhängig von dem für die jeweilige Schülergruppe ausgewählten Experiment der Selbständigkeitsgrad aller Schüler etwa gleich ist. Bei den Experimenten dieser Gruppe wird von den Schülern gefordert, selbständig die Geräte und Hilfsmittel zusammenzustellen, die Experimentieranordnung zu planen und das Meßprotokoll vorzubereiten. Diese Schritte sind wesentlich als Voraussetzung für eine weitergehende selbständige und in Ansätzen schöpferische Lösung experimenteller Aufgaben mit Anleitungen von verminderter Ausführlichkeit in Klasse 12 beziehungsweise von Aufgaben ohne spezielle Anleitungen (Einzelexperimente, Reifeprüfung). Bei Fragen sind die Schüler auf die Reaktivierung des Unterrichtsstoffes und der verbindlichen Schülerexperimente zu orientieren. Sie sollen lernen, das Praktikum stets in der Einheit mit dem übrigen Physikunterricht zu sehen.
In den Hinweisen zu den Experimenten dieser Gruppe bzw. in der Übersicht zu den Geräten werden alle nach den Anleitungen durch die Schüler selbständig zu erarbeitenden Schritte ausführlich dargestellt, um dem Lehrer die Kontrolle zu erleichtern.

III/1 Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität einer Flüssigkeit durch Vergleich von aufgewandter elektrischer Arbeit und Änderung der inneren Energie der Flüssigkeit

Zu den Vorbetrachtungen

Zu 2) Der Hinweis zum Wirkungsgrad bei Arbeit mit Wasser und Spiritus erfolgt, weil aus Zeitgründen die Bestimmung der Wärmekapazität des Kalorimeters, gefüllt mit Spiritus, nicht gefordert werden kann.

Zu 3) $W_{el} = U_1 \cdot I_1 \cdot t_1$

$$U_e - U_a = m_w \cdot c_w (T_{e1} - T_{a1})$$

$$\eta_w = \frac{m_w \cdot c_w (T_{e1} - T_{a1})}{U_1 \cdot I_1 \cdot t_1}$$

U: Spannung beim Erwärmen
I: Stromstärke beim Erwärmen
t: Zeit zum Erwärmen
$T_e - T_a$: Temperaturdifferenzen

Zu 4) mit $\eta_W \approx \eta_S$ folgt

$$c_S = \frac{\eta_W \cdot U_2 \cdot I_2 \cdot t_2}{m_S \cdot (T_{e2} - T_{a2})}$$

Index 1 gilt immer für Wasser
Index 2 gilt immer für Spiritus
6) Den Siedepunkt von Spiritus finden die Schüler im Tafelwerk bei Äthanol ($\vartheta_S = 78{,}4$ °C). Durch die Kenntnis des Siedepunkts soll die Erwärmung des Spiritus bis zum Verdampfen vermieden werden, um Gefährdung durch Einatmen oder Entzünden der Dämpfe zu vermeiden.

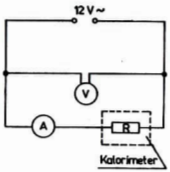
Geräte

SEG: Becherglas 250 ml, Becherglas 100 ml, Asbesteinsatz, Rührer, Deckel für Kalorimeter, Heizwendel,

Meßzylinder (100 ml), Thermometer (1/1° Teilung), Trichter Stromversorgungsgerät 2 Polyzet od. Polytest, Verbindungsleiter

Weitere Geräte und Hilfsmittel
Spiritus, (Waage mit Wägesatz), Fließpapier

Experimentieranordnung



Zum Ablauf des Experiments

Zu 1) und 3): Die Masse der Flüssigkeiten kann zur Erhöhung der Genauigkeit über eine Wägung bestimmt werden. Allerdings ist der Zeitaufwand größer als bei der Bestimmung über das Volumen. Um das Vorgehen offen zu lassen, enthält die Beschreibung des Ablaufs Aussagen zu beiden Varianten.
Zum Ausschließen grober Fehler ist es günstig, wenn die Schüler jede Messung durch eine Kontrollmessung ergänzen. Im Praktikum ist das in der zur Verfügung stehenden Zeit gut möglich, wenn die Durchführung an zwei Experimentieranordnungen parallel erfolgt.

Meßprotokoll

$c_W = 4{,}19\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$

U_1 in V	I_1 in A	t_1 in s	m_W in kg	ϑ_{a1} in °C	ϑ_{e1} in °C	U_2 in V	I_2 in A	t_2 in s	m_S in kg	ϑ_{a2} in °C	ϑ_{e2} in °C
13,0	1,85	300	0,080	37,5	52,0	12,5	1,62	300	0,073	23,9	44,0

Zur Auswertung

Mit einem Wirkungsgrad von $\eta_W = 0{,}67$ ($\eta_W \approx \eta_S$) wurde die spezifische Wärmekapazität von Spiritus $c_S = 2{,}8\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$ ermittelt (Tabellenwert $c_S = 2{,}47\mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$).
Die von Schülern ermittelten Werte sind stets etwas größer als der Tabellenwert, liegen aber nicht über $3\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$.
Eine Ursache dafür ist, daß wegen $\eta_S \approx \eta_W$ folgt: c_S (gemessen) $> c_S$ (Tabelle).
Als weitere Ursache wird angenommen, daß der Spiritus durch die Benutzung mit Wasser vermischt wird und deshalb die Werte für c_S steigen.

Einschätzung

Die relative Vielzahl unterschiedlicher Tätigkeiten erschwert den Schülern die systematische Lösung der experimentellen Aufgabe, erzieht sie aber auch zu planvollem Arbeiten. Die erzielte Genauigkeit stimmt mit der bei III/2 überein. Die gemeinsame Aufnahme der Experimente III/1 und III/2 in das Praktikum erscheint günstig, weil den Schülern in der Kommunikation zwischen den Gruppen die Möglichkeit nahegebracht wird, mit unterschiedlichen Meßmethoden die gleiche physikalische Größe zu bestimmen.

III/2 Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität einer Flüssigkeit durch kalorimetrische Messungen

Zu den Vorbetrachtungen

Zu 1) Hier sollte eine ausführliche schriftliche Darstellung gefordert werden, um die Fähigkeit der Schüler im exakten physikalischen Ausdruck zu schulen.

Zu 2) $m_S \cdot c_S\,(T_A - T_m) = K_S\,(T_m - T_B)$

Zu 5) Vergl. Zur Vorbetrachtung 6) bei III/1

Geräte und **Experimentieranordnung** wie Schülerexperimente Physik Kl. 11/12 SE Th 1

Zum Ablauf des Experiments

Er folgt dem Ablauf von Th 1. Allerdings muß den Schülern die Wärmekapazität K_S des mit Spiritus gefüllten Gefäßes gegeben werden, da sonst die spezifische Wärmekapazität c_S von Spiritus nicht auf diese Weise bestimmbar ist. Die Bestimmung von K_S kann durch die Fachhelfer bei Vorgabe von c_S vor dem Praktikum erfolgen.

Meßprotokoll

$K_S = 3{,}1 \cdot 10^{-2}\ \mathrm{kJ} \cdot \mathrm{K}^{-1}$ (den Schülern vorgegeben)

Lfd. Nr.	m_S in kg	ϑ_B in °C	ϑ_A in °C	ϑ_m in °C	c_S in kJ kg^{-1} grd^{-1}
1	0,080	21	46	31	0,258
2	0,080	21	44	30,5	0,272

Zur Auswertung

Auch hier wurde die spezifische Wärmekapazität c_S von Spiritus stets etwas über dem Tabellenwert ermittelt (Begründung wie bei III/1).

Einschätzung

Das Experiment wird von Schülern als einfacher eingeschätzt als III/1. Aus den schon in III/1 bei der Zusammenfassung genannten Gründen sollten beide Experimente von verschiedenen Schülergruppen im gleichen physikalischen Praktikum durchgeführt werden.

III/3 Bestimmen des linearen Ausdehnungskoeffizienten eines Metalls

Zu den Vorbetrachtungen

Zu 4) Die Informationen an die Schüler ersetzen die Bedienungsanleitung zum „Gerät zur Bestimmung des linearen Ausdehnungskoeffizienten". Die Bedienungsanleitung selbst sollte den Schülern nicht ausgehändigt werden, da sie in ihren Formulierungen nicht auf das Niveau der Schüler, sondern auf das des Lehrers abgestimmt ist.

Geräte

SEG	Hilfsmittel	DG
Erlenmeyerkolben, Stopfen mit Bohrung, Stativheizplatte, Gerätekabel, Becherglas (100 ml), Thermometer (1/1° Teilung), V-Fuß.	2 Schlauchstücke, Fließpapier Winkelrohr (Glas)	Gerät zur Bestimmung des linearen Ausdehnungskoeffizienten (SKUS Nr. 08343489), V-Fuß, Stativstab (750 mm), 2 Stativstäbe (250 mm), Stativstab (40 mm), 5 Kreuzmuffen, Kochring, Meßstab 1 m.

Experimentieranordnung

Lehrbuch Physik Kl. 11, Bild 93/1 (ergänzt durch Gefäß zum Auffangen des Kondenswassers).

Zum Ablauf des Experiments

Aus Zeitgründen sollte die Anordnung fertig vorgegeben werden. Eine Geräteliste sollen die Schüler am Experimentierplatz in das Protokoll übernehmen. Damit wird die relativ lange Zeit bis zum Abschluß der ersten Messung ausgefüllt. Außerdem wird überprüft, ob die Schüler eine Experimentieranordnung selbständig analysieren können.
Das Experiment ist auch vollständig mit SEG (Kalorik und Glasgeräte) durchführbar. Die Apparatur ist dann ähnlich aufgebaut, die Ablesung erfolgt über eine Walze mit Zeiger (s. Anleitung zum Schülerexperimentiergerät Kalorik, S. 22). Die Ergebnisse sind weniger genau als bei der Arbeit mit dem Feinmeßzeiger.
Zu beachten ist, daß die Stativheizplatte spätestens mit Beginn der Praktikumstunde eingeschaltet wird, denn erst, wenn kein Kondenswasser mehr aus dem Rohr tropft, kann die Ablesung am Meßgerät erfolgen. Es kann vorgewärmtes Wasser eingefüllt werden, wobei 2 cm Füllhöhe im Erlenmeyerkolben ausreichen. Es ist zu sichern, daß die Apparatur während der gesamten Arbeit mit dem Meßgerät nicht erschüttert wird.
Beim Wechseln der Rohre müssen die Schüler Schutzhandschuhe benutzen, um Verbrennungen zu vermeiden.
Die Messung ist zeitaufwendig. Von den Schülern kann an einem Rohr eine Messung und eine Kontrollmessung zeitlich bewältigt werden. Dazu muß aber das Rohr wieder auf die Ausgangstemperatur abgekühlt werden, um vergleichbare Bedingungen zu erhalten. Die Einzelmessung eines Materials unterfordert die Schüler. Es werden deshalb ein Aluminium- und ein Stahlrohr zur Messung vorgelegt und auf Kontrollmessungen verzichtet. Zu beachten ist außerdem, daß die Schüler beim Wechsel des Rohres nicht beide Enden fest einspannen.

Meßprotokoll

Metall	l_0 in mm	ϑ_a in °C	ϑ_e in °C	l in mm	α in K^{-1}
Aluminium					
Stahl					

Zur Auswertung

Mit dem Demonstrationsgerät werden von Schülern Ergebnisse erzielt, die den Tabellenwerten sehr gut angenähert sind. Als relative Fehler werden abgeschätzt:

$$\frac{\Delta l_0}{l_0} \approx 0{,}001 \qquad \frac{\Delta(\Delta\vartheta)}{\Delta\vartheta} \approx 0{,}05 \qquad \frac{\Delta(\Delta l)}{\Delta l} \approx 0{,}02$$

Also ist der Temperaturmessung besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Material	α_{Tafel} in K^{-1}	$\alpha_{ermittelt}$ in K^{-1}
Aluminium	$2{,}3 \cdot 10^{-5}$	$2{,}2 \cdot 10^{-5}$
Stahl	$1{,}2 \cdot 10^{-5}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$

Einschätzung

Bei der Bereitstellung der Experimentieranordnung und Beachtung der Hinweise zum rationellen Arbeiten führen die Schüler das Experiment ohne größere Schwierigkeiten durch. Die sehr gut mit den Tabellenwerten übereinstimmenden Ergebnisse empfinden sie als Erfolgserlebnis. Trotz der Vorgaben können die Schüler die geforderten Schritte mit einem hohen Selbständigkeitsgrad erarbeiten.

III/4 Bestimmen der spezifischen Schmelzwärme von Eis

Zur Vorbetrachtung

Zu 3) $K(\vartheta_{aB} - \vartheta_m) = m_{Eis} \cdot q_S + m_{Eis} \cdot c_W(\vartheta_m - \vartheta_{aA})$
mit K: Wärmekapazität des Kalorimeters unter Einbeziehung der Menge warmen Wassers in $kJ \cdot K^{-1}$
ϑ_{aB}: Temperatur des warmen Wassers in °C
q_S: spezifische Schmelzwärme des Eises in $kJ \cdot K^{-1}$
c_W: spezifische Wärmekapazität des Wassers in $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
ϑ_{aA}: Temperatur des schmelzenden Eises (0 °C)
ϑ_m: Mischungstemperatur in °C

Zu 4) $K(\vartheta_m - \vartheta_{aB}) = m_A \cdot c_W(\vartheta_{aA} - \vartheta_m)$

Geräte

SEG		Hilfsmittel
Becherglas 250 ml	Stativheizplatte	Eiswürfel
Becherglas 100 ml	V-Fuß	Fließpapier
Asbesteinsatz	Gerätekabel	
Rührer	Aluminiumtopf	
Deckel für Kalorimeter	2 Thermometer 1/1°	
Meßzylinder 100 ml		

Experimentieranordnung

Kalorimeter aus Aufbauteilen wie Lehrbuch Kl. 11, Bild 80/1, außerdem Stativheizplatte mit Aluminiumtopf zum Erwärmen des Wassers.

Zum Ablauf des Experiments

Da die Schüler durch das Schülerexperiment Th 1 bereits Kenntnisse über die Werte für die Wärmekapazität K besitzen, kann bei Verwendung des gleichen Füllstands

wie bei Th 1 aus Zeitgründen auf die Kontrollmessung verzichtet werden. Die Kennzeichnung der Apparaturen, die bei Th 1 bereits vorgeschlagen wurde, bewährt sich auch hier. Der Lehrer hat dann anhand einer Aufstellung die Möglichkeit, die von den Schülern ermittelten Werte für die Wärmekapazität K einzuschätzen. Der Hinweis auf das Einfüllen des schmelzenden Eises ist notwendig, weil fest gefrorenes Eis Temperaturen $\vartheta < 0$ °C besitzen kann, damit ist $\vartheta_A = 0$ °C nicht erfüllt und die Meßergebnisse werden fehlerhaft. Das Abtrocknen mit Fließpapier ist nötig, um das Einbringen von Schmelzwasser zu verhindern. Durch anhaftendes Schmelzwasser wird die Massebestimmung des Eises fehlerhaft.

Meßkontrolle

$c_W = 4{,}19\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$

(1) Ermittlung von K

m_A =
ϑ_{A1} =
ϑ_{B1} =
ϑ_m =
K =

(2) Ermittlung von $q_S(\vartheta_{A2} = 0°\,C)$

Meßgröße	Messung	Kontrollmessung
Masse des warmen Wassers m_A in g		
Gesamtmasse des Wassers m in g		
Masse des Eises m_{Eis} in g		
ϑ_{B2} in °C		
ϑ_m in °C		
q_s in $\mathrm{kJ \cdot kg^{-1}}$		

(Index 1 bezogen auf die Messungen zu K)
(Index 2 bezogen auf die Messungen zu q_S)

Zur Auswertung

Mit einer Wärmekapazität $K = 0{,}32\ \mathrm{kJ \cdot K^{-1}}$ werden bei Erwärmung des Wassers auf etwa 45 °C und unter Einhaltung der in der Anleitung gestellten Bedingungen (Füllstand, Zustand des Eises) in einer Messung und einer Kontrollmessung durch Schüler für die spezifische Schmelzwärme des Eises $q_S \approx 390\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1}}$ bzw. $q_S \approx 350\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1}}$ ermittelt (Tabellenwert $q_S = 332\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1}}$).

Einschätzung

Obwohl das Experiment im Unterricht bereits vorgeführt wurde, sind die Schüler mit der Lösung der experimentellen Aufgabe nicht unterfordert. Besonders im Zusammenhang mit der Forderung der Bestimmung der Wärmekapazität K sowie Messung und Kontrollmessung zur spezifischen Schmelzwärme q_S wird die Entwicklung einer rationellen kollektiven Arbeit nötig und gefördert. Das Experiment festigt vor allem nochmals das Erkennen von Zusammenhängen zwischen den Stoffgebieten 2.2.1. und 2.2.3. der Klasse 11.

Einzelexperimente

Mit den Einzelexperimenten wird versucht, für die Schüler die Diskrepanz zwischen dem auf Gruppenbasis erworbenen experimentellen Wissen und Können und deren erfolgreiche Anwendung unter Prüfungsbedingungen, allein aus der Aufgabenstellung und ohne mitarbeitende Schüler, zu überwinden. Zur Vorbereitung des selbständigen Lösens experimenteller Aufgaben dienen zunächst die Gruppenexperimente nach ausführlichen Anleitungen. Dabei ist es organisatorisch nicht möglich, daß die Schüler vor der Durchführung der Einzelexperimente je ein Experiment aus jeder Gruppe absolviert haben. Es ist aber erreichbar, daß jede Schülergruppe ein Gruppenexperiment durchgeführt und ausgewertet hat, ehe die ersten Schüler Einzelexperimente durchführen. Parallel dazu erfolgt die Durchführung der weiteren Gruppenexperimente. Die vollständige Durchführung der Gruppenexperimente ist auch nicht Voraussetzung der Einzelexperimente, da diese auf den Schülerexperimenten der Klasse 11 basieren. Die langfristige Vorbereitung der Einzelexperimente erfolgt dadurch, daß die verbindlichen Schülerexperimente von jedem Schüler bis zur Reproduzierbarkeit des darin geforderten Wissens und Könnens beherrscht werden. Die Einzelexperimente dienen vor allem dem Erreichen der Sicherheit der Schüler im selbständigen Experimentieren, der Kontrolle der Kenntnisse durch den Lehrer und auch durch die Schüler selbst sowie der Vorbereitung auf die Reifeprüfung. Es ist deshalb zu erreichen, daß jeder Schüler seine Einzelexperimente allein und selbständig durchführt und auswertet. Die Anleitungen zu den Einzelexperimenten erhalten die Schüler zwar mit dem Praktikumheft, aber erst vor Beginn der Stunde wird ihnen mitgeteilt, welches Einzelexperiment durchzuführen ist. Bei nur vier Einzelexperimenten, die der Lehrplan ausweist, und der Information der Schüler, daß diese auf verbindlichen Schülerexperimenten basieren, wird den Schülern die Arbeit wesentlich erleichtert. Die Einzelexperimente in Klasse 11 stellen deshalb noch nicht so hohe Anforderungen an Wissen und Können der Schüler wie die der Kl. 12, deren Anzahl umfangreicher und deren Inhalt vielgestaltiger ist als in Kl. 11. Das entspricht der Lehrplanforderung nach rechtzeitiger, kontinuierlicher und in der Schwierigkeit ansteigender Vorbereitung der Reifeprüfung. Eine ausführliche Beschreibung der Einzelexperimente erfolgt deshalb in der Unterrichtshilfe Kl. 12. Beiträge zur Unterstützung der Arbeit mit den Einzelexperimenten leisten die Gruppenexperimente auch dadurch, daß die Anleitungen von Gruppe zu Gruppe differenziert werden, z.B. reduzierte Vorgaben machen und so die Selbständigkeit der Schüler entwickeln helfen.
Organisatorisch ist zu beachten, daß jedes Einzelexperiment in den Praktikumstunden 5 bis 10 vier- bis fünfmal bereitgestellt werden muß. Dazu ist ein großer Aufwand an SEG-Stativmaterial nötig. Es wird deshalb vorgeschlagen, in den Gruppenexperimenten II auf SEG-Stativmaterial zu verzichten. Dort ist das längere und kräftigere Demonstrationsstativmaterial besser zur Lösung der Aufgaben geeignet.

Arbeit mit Fachhelfern

Eine Konzeption des Praktikums der Abiturstufe, die im Interesse der Wirksamkeit der Gruppenziele den Einsatz aller Gruppen- und Einzelexperimente vorsieht, ist wahrscheinlich unter Beachtung der nötigen Aufsichts-, Führungs- und Kontrolltätigkeit nur mit Hilfe von Fachhelfern zu verwirklichen. Eine erprobte Vari-

ante ihres Einsatzes wird hier kurz dargestellt. Da die Fachhelfer gleichzeitig Schüler der Klasse sind, also auch den Prozeß der Kenntnis- und Könnensentwicklung sowie der kollektiven Über- und Unterordnung mit ihren Mitschülern durchlaufen müssen, sollen sie weitestmöglich in ihre Gruppen integriert bleiben. Auch die Einzelexperimente führen sie unter den gleichen Bedingungen wie alle Schüler durch.

Es ist eine gesonderte Vorbereitung der Fachhelfer auf die Gruppenexperimente nötig. Diese Zeitinvestition des Lehrers lohnt sich für ihn als Entlastung im Praktikum, aber auch durch die Freude mitzuerleben, wie junge Menschen bereitwillig und ernsthaft bei geeigneter Anleitung Verantwortung übernehmen und Vertrauen rechtfertigen. Bei dem hier geplanten Praktikumsablauf ist der Einsatz von 3 Fachhelfern je Klasse zweckmäßig, mit denen das Praktikum gemeinsam aufgebaut wird, wobei jeder von ihnen ein Gruppenexperiment durchführt. Danach nehmen sie Einblick in die übrigen Experimente der gleichen Gruppe, so daß jeder Fachhelfer zur Betreuung der Experimente einer Gruppe befähigt wird.

In der Einführungsstunde treten diese Schüler bereits besonders aktiv in der Mitarbeit hervor, da sie schon zusätzliche Informationen über das Praktikum besitzen. In der 3. und 4. Stunde betreuen sie ihre Gruppe von Experimenten. In den Stunden 5 bis 10 ist jeweils ein Fachhelfer im Einsatz. Sie nehmen Einsicht in die vorbereiteten Protokolle, beobachten, wie die Schülergruppen die Experimente aufbauen und durchführen, geben kleinere Hinweise. Größere Hilfeleistungen sollten mit den Schülern und dem Lehrer abgesprochen werden. Sie werten die Beobachtungen gemeinsam mit den Schülern und dem Lehrer aus und kontrollieren die Ordnung am Arbeitsplatz. In der Auswertung des physikalischen Praktikums sollte auch die Einschätzung der Leistung der Fachhelfer durch Lehrer und Schüler bei Hervorheben der positiven Leistungen erfolgen.

Arbeitsblatt				
Datum.....	Name.....		Klasse.....	
Zustandsänderung (Bedingung)	Zustandsgrößen (Anfangs- und Endzustand) Gesetze	p-V-Diagramm	Anwendung des ersten Hauptsatzes auf Zustandsänderungen	Bemerkungen zur Anwendung

Arbeitsblatt

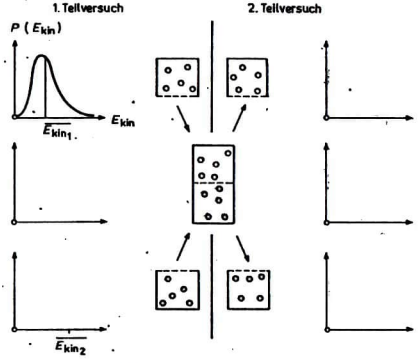
Datum	Name	Klasse .....

Temperaturausgleich zwischen zwei Gasen

Erklären Sie den Prozeß des Temperaturausgleichs zwischen zwei Gasen unterschiedlicher Temperatur aus kinetisch - statistischer Sicht !

Vervollständigen Sie zur grafischen Veranschaulichung dieses Prozesses die folgende Abbildung !

Abbildung :



---- Systemgrenze , die Energieübertragung nur in Form von Teilchenstößen zuläßt.

<u>Beachten Sie:</u> Es tritt keine Mischung der Gase ein !

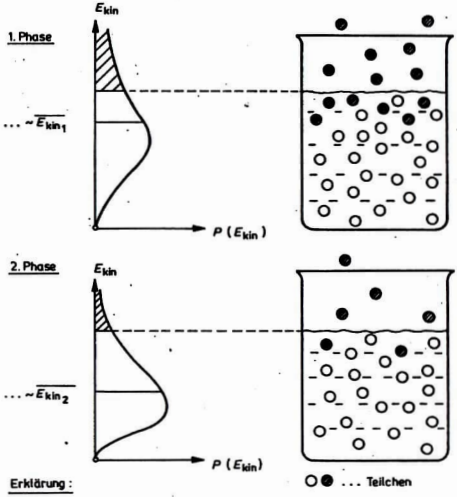
Erklärung :

Arbeitsblatt

Datum	Name	Klasse .....

Verdunsten aus kinetisch-statistischer Sicht

Abbildung: (Beachten Sie die Vertauschung der Bezeichnungen der Koordinatenachsen)



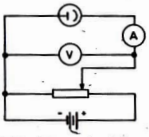
Erklärung:

Arbeitsblatt

Datum	Name	Klasse .....

Quantenhafte Absorption von Licht

1. Die Untersuchung des äußeren lichtelektrischen Effektes führte zu wichtigen Informationen über das Licht.
   Die Bestimmung der kinetischen Energie der Fotoelektronen erfolgte auf der Grundlage des nebenstehenden Schaltplanes.

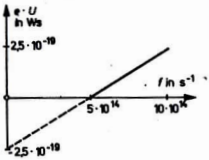


   Beschreiben und erklären Sie ausgehend vom Schaltplan das experimentelle Vorgehen bei der Bestimmung der kinetischen Energie der Fotoelektronen!

   _____
   _____
   _____
   _____
   _____

2. Welche Beziehung besteht zwischen der kinetischen Energie der Fotoelektronen
   - und der Beleuchtungsstärke? _____
   _____
   - und der Frequenz des eingestrahlten Lichts? _____
   _____

3. Bei der experimentellen Untersuchung der Abhängigkeit der kinetischen Energie der Fotoelektronen von der Frequenz des eingestrahlten Lichts ergab sich das nebenstehende Diagramm.



Werten Sie es aus!

— Die Austrittsarbeit des Katodenmaterials beträgt W_A =

— Die Grenzfrequenz beträgt f_G =

— Für das Plancksche Wirkungsquantum gilt h =
Es errechnet sich zu h =

4. Zur Bestimmung des Planckschen Wirkungsquantums wird eine Vakuumfotozelle mit Licht der Frequenz $f_1 = 5.10^{14}$ Hz bestrahlt. Die Elektronen verlassen die Katode mit einer kinetischen Energie $E_1 = 1.10^{-20}$ W · s. Beim Bestrahlen mit einer Frequenz von $f_2 = 7.10^{14}$ Hz beträgt die kinetische Energie $E_2 = 13.10^{-20}$ W · s.
   Wie groß ist die Austrittsarbeit?
   Welcher Wert ergibt sich für das Plancksche Wirkungsquantum?
   Gehen Sie bei der Berechnung von der Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt aus!

5. Erklären Sie die Vorgänge beim äußeren lichtelektrischen Effekt auf der Grundlage der von A. Einstein gewonnenen Erkenntnisse über das Photon!

6. Welche der Untersuchungsergebnisse stehen im Widerspruch zum Wellenmodell aus der Makrophysik?
   1.
   2.