

Online-Version/nicht für amtliche Zwecke

Fachlehrplan für Physik

Inhaltsübersicht

Vorbemerkungen		2
Jahrgangsstufe 8	(alle Ausbildungsrichtungen außer MuG)	6
Jahrgangsstufe 9	MNG	10
Jahrgangsstufe 9	HG, NG, WWG, SWG	14
Jahrgangsstufe 9	MuG	17
Jahrgangsstufe 10	(alle Ausbildungsrichtungen)	21
Jahrgangsstufe 11	(alle Ausbildungsrichtungen)	27
Grundkurs:		
Jahrgangsstufe 12		32
Jahrgangsstufe 13		37
Physik (Astronomie)		41
Physik (Informatik)		46
Leistungskurs:		
Jahrgangsstufe 12		51
Jahrgangsstufe 13		60

Vorbemerkungen

Die Fachlehrpläne bilden die vierte Ebene des Lehrplans für das bayerische Gymnasium (KWMBI I 1990 So.-Nr. 3 S. 125 ff.). Sie enthalten eine ausführliche Darstellung der Ziele und Inhalte des Fachunterrichts.

Für jeden Lehrplanabschnitt werden zunächst **Ziele** beschrieben. Die Beschreibung dieser Ziele soll jeweils deutlich machen, auf welche Art von Entwicklungsprozessen es im Unterricht bei den Schülern ankommt. Bei diesen Prozessen lassen sich vier didaktische Schwerpunkte (a. a. O., S. 138, Ziff. 19) unterscheiden, die für schulisches Lernen im Hinblick auf die personale Entwicklung der Schüler bedeutsam sind: (1.) Wissen, (2.) Können und Anwenden, (3.) Produktives Denken und Gestalten, (4.) Wertorientierung. Diese didaktischen Schwerpunkte stehen in einem inneren Zusammenhang, doch hat jeder seinen eigenen Charakter, der in der Zielformulierung zum Ausdruck kommt.

Danach kommen die **Inhalte**; sie werden in zwei Spalten dargestellt, in der linken aus der Sicht des Faches (vor allem Begriffe, Fakten, Themenbereiche, Daten), in der rechten aus der Sicht des Lehrens und Lernens (vor allem Denkweisen, Prozesse, Wertvorstellungen, daneben auch stoffliche Präzisierungen).

Methodische Anmerkungen sind, wo es angebracht erscheint, unter der jeweiligen Inhaltsgruppe aufgeführt. Sie sollen dem Lehrer Hilfen bei der Umsetzung des Lehrplans geben, z.B. bei der Abwägung unterrichtlicher Alternativen oder auch bei der Berücksichtigung besonderer pädagogischer Ziele.

Die Reihenfolge, in der die Ziele und Inhalte angeordnet sind, kann, soweit sie nicht durch den logischen Aufbau der Physik bedingt ist, nach dem Ermessen des Lehrers innerhalb einer Jahrgangsstufe abgeändert werden.

Hinweise auf Querbezüge zu anderen Fächern und auf fächerübergreifende Bildungs- und Erziehungsaufgaben erfolgen mit Hilfe der Abkürzungen* (nach den Vorbemerkungen), die auch in den Rahmenplänen verwendet werden. Sie sind näher erläutert, wo sie nicht ohne weiteres verständlich sind.

Alle Aussagen im Lehrplan sind Teil der verbindlichen Vorgaben für den Unterricht, der den Schülern zugedacht ist. Ausführungen, die nur Anregungen oder Beispiele geben sollen, sind durch den Sprachgebrauch als solche gekennzeichnet.

Die als Zeitrichtwerte genannten Stundenzahlen geben einen Hinweis für die Unterrichtsplanung, sind aber nicht verbindlich.

Für das Erreichen der Ziele des Fachunterrichts (Darbietung und Erarbeitung des Lehrstoffs, Einübung, Wiederholung, Beobachtung des Lernfortschritts und mündliche Leistungsnachweise) rechnet der Lehrplan bei einem einstündigen Fach mit 28 Unterrichtsstunden im Schuljahr, bei einem mehrstündigen mit einem entsprechenden Vielfachen. Von den darüber hinaus verfügbaren Stunden wird in den Schulaufgabenfächern ein Teil für die Durchführung der Schulaufgaben benötigt; in den übrigen Stunden ist der pädagogische Freiraum (a. a. O., S. 138, Ziff. 20) enthalten.

Die Lehrer sollen den Schülern bewußtmachen, daß es im Physikunterricht nicht nur um **Wissensvermittlung** geht, sondern auch um das **Verständnis physikalischer Zusammenhänge** bei Abläufen in Natur und Technik. Durch die Vermittlung von Kenntnissen, Fertigkeiten, Fähigkeiten und Einsichten sollen die Schüler die Grundlage für die eigenständige Verarbeitung von Informationen, die systematische Inangriffnahme von Alltagsproblemen und die sachkundige Beurteilung von Vorgängen in Natur und Technik als Rüstzeug für das Leben erhalten; Physik ist so als **Kulturgut** zu begreifen. Am Zusammenspiel von Theorie und Experiment sollen die Schüler verschiedene Methoden der Erkenntnisgewinnung kennenlernen. Dabei kommt der Theorie- und Modellbildung mit zunehmendem Alter eine wachsende Bedeutung zu. Alltagsvorstellungen der Schüler sollen aufgegriffen und fachlich präzisiert werden; häufig anzutreffenden Fehlvorstellungen gilt es zu begegnen. Bestimmte Inhalte sind unentbehrliche Grundlage für einen aufbauenden Unterricht. Auf das Einüben und Wiederholen sowie das Erkennen der zugrundeliegenden Zusammenhänge ist hier besonderer Wert zu legen; nur so kann darauf hingearbeitet werden, daß dieses Wissen - auch über die jeweilige Jahrgangsstufe hinaus - später leicht aktiviert und abgerufen werden kann.

Der Grad der **Mathematisierung** physikalischer Sachverhalte wird durch den Lehrplanteiltext umschrieben. Bereits in der Mittelstufe soll behutsam auf Kenntnisse aus der Mathematik zurückgegriffen werden, wenn dadurch das Verständnis der physikalischen Phänomene besonders gefördert und vertieft sowie die Darstellung vereinfacht und präzisiert wird. Übungsaufgaben und Lernzielkontrollen sollen möglichst keine reinen Rechenaufgaben sein. Eigene Überlegungen der Schüler, die sie auch verbal darstellen, sollen unter Einbeziehung graphischer Methoden sowie einfacher Skizzen in übersichtlicher Darstellung zu einem physikalischen Lösungsweg führen. Ein wichtiges Hilfsmittel ist das Abschätzen von Größen. Vor allem wenn Meßergebnisse in die Rechnung eingehen, soll der sinnvolle Umgang mit dem Taschenrechner eingeübt werden. Dabei sollen auch Probleme der Meßgenauigkeit diskutiert werden; auf die Ursachen von Meßfehlern und auf die Fehlerfortpflanzung ist altersgemäß einzugehen. In der Oberstufe sind die Unterrichtsfortschritte in Mathematik und Physik teilweise eng verflochten; gerade hier ist darauf zu achten, daß Symbolik und Formalistik nur dort verwendet wird, wo sie deutliche, auch den Schülern erkennbare Vorteile bringt. Zunehmende Bedeutung kann hier der Einsatz des Computers als Hilfsmittel in seinen verschiedenen Anwendungsbereichen (z.B. bei Modellbildung und Simulation bzw. Meßwerterfassung und -verarbeitung) finden.

Für alle Jahrgangsstufen gilt der Auftrag, die **sprachliche Ausdrucksfähigkeit** bewußt zu fördern.

Das Unterrichtsgespräch sowie z.B. schriftliche Ausarbeitungen bieten vielfältige Möglichkeiten, eine dem Sachverhalt angemessene sprachliche Darstellung (6 DS) unter Verwendung der Fachsprache einzuüben und zu fordern.

Ferner gilt es, den Schülern Einsichten in das Verhältnis von **Mensch und Technik** zu vermitteln und sie dabei nicht nur mit den fachwissenschaftlichen Aspekten technischer Leistungen vertraut zu machen, sondern auch Chancen und Risiken moderner Technik zu diskutieren. Wegen der vielseitigen Anknüpfungsmöglichkeiten dieses für das Fach Physik durchgängigen Auftrags (6 MT) sind nicht alle denkbaren Stellen im Lehrplandtext gekennzeichnet.

Die Arbeitsweise einer Wissenschaft kann man nur dann wirklich kennenlernen, wenn man diese - zumindest an einigen Beispielen - selbst praktiziert. Das **Schülerexperiment** ist daher ein unverzichtbarer **Bestandteil des Physikunterrichts**. Wo immer möglich, sollen die Schüler im Unterricht an Experimenten beteiligt werden, selbständig Schülerversuche durchführen und zu einfachen und ungefährlichen Heimversuchen angeregt werden. In den methodischen Anmerkungen sind zahlreiche Vorschläge von Themen aufgeführt, die sich für Schülerversuche besonders eignen. Alle Schüler der Mittelstufe sollen Gelegenheit erhalten, im Laufe eines Schuljahres wenigstens 4 (bei 2 Wochenstunden) bzw. 6 (bei 3 Wochenstunden) Experimente selbst durchzuführen.

Darüber hinaus soll die Beschäftigung mit einem **Unterrichtsprojekt** die Schüler der Mittelstufe zu eigenständigem Arbeiten anleiten, ihre aktive Beteiligung an einem gemeinsamen Vorhaben fördern und sie zu konstruktiver Zusammenarbeit in einer Gruppe hinführen. Motivation und Einsatzbereitschaft können besonders gesteigert werden, wenn die Interessen und Ideen der Schüler unmittelbar in die Projektarbeit einfließen können. Das Unterrichtsprojekt kann als fachliche Zusammenschau mit fächerübergreifenden Aspekten zum Abschluß und zur Vertiefung eines Themenkreises durchgeführt werden. Es eignet sich aber auch als motivierender Einstieg in einen neuen Themenkreis oder kann sich aus aktuellem Anlaß ergeben. Obwohl jeweils als letzter Themenbereich in der betreffenden Jahrgangsstufe formuliert, soll das Unterrichtsprojekt nicht auf das Schuljahresende verlegt werden.

Ein wichtiges Ziel im **Leistungskurs Physik** ist es, die Schüler zum selbständigen Lösen praktischer Probleme durch Experimentieren zu ermuntern. Wo immer es die Verfügbarkeit von Geräten und Räumen gestattet, soll den Schülern Gelegenheit zum selbständigen Experimentieren gegeben werden. Neben der Mithilfe bei Demonstrationen, dem Experimentalreferat - jeweils als Beitrag zum Unterricht - und der experimentellen Facharbeit nimmt das experimentelle **Praktikum** einen besonderen Stellenwert ein. Es soll möglichst gleichmäßig auf die Ausbildungsabschnitte 12/1, 12/2 und 13/1 verteilt werden.

Bei der Vorbereitung und Durchführung von Demonstrationsexperimenten, Schülerversuchen und Praktika sind die **Richtlinien zur Sicherheit im naturwissenschaftlichen Unterricht an den Schulen in Bayern** in der jeweils geltenden Fassung zu beachten.

* Abkürzungen

Fächer:

B Biologie
C Chemie
D Deutsch
E Englisch
Ek Erdkunde
Eth Ethik
Ev Ev. Religionslehre
F Französisch

Fächerübergreifende Bildungs- und Erziehungsaufgaben:

BOBerufliche Orientierung
DSPflege der deutschen Sprache
DW"Dritte Welt"
EUEuropa
FAFamilien- und Sexualerziehung
FRFriedenserziehung
FZFreizeiterziehung
GEGesundheitserziehung

Fs	Fremdsprachen	ITG	Informationstechnische Grundbildung
mFs	moderne Fremdsprachen	MB	Musische Bildung
G	Geschichte	ME	Medienerziehung
Gr	Griechisch	MT	Mensch und Technik
Hw	Hauswirtschaft	PP	Politische Bildung
It	Italienisch	U	Umwelterziehung
K	Kath. Religionslehre	V	Verkehrserziehung
Ku	Kunsterziehung	W	Weltbild - Weltdeutung
L	Latein		
M	Mathematik		
Mu	Musik		
Nw	Naturwissenschaften		
Ph	Physik		
Ru	Russisch		
Rw	Rechnungswesen		
S	Sport		
SG	Sozialpraktische Grundbildung		
Sk	Sozialkunde		
Sp	Spanisch		
TmW	Textilarbeit mit Werken		
WR	Wirtschafts- und Rechtslehre		

Jahrgangsstufe 8

(2, MuG 0)

Im Vordergrund des Physikunterrichts der Jahrgangsstufe 8 steht die Betrachtung von Phänomenen aus der Erfahrungswelt der Schüler. Physikalische Grundbegriffe werden behutsam eingeführt. Vor dem Erarbeiten der exakten Definitionen soll nach dem Grundsatz des entdeckenden Lernens ein möglichst weitreichendes Vorverständnis erreicht werden.

Um die Freude am Fach Physik zu wecken, ist im besonderen Maße auf Eigentätigkeiten der Schüler Wert zu legen. Wo immer möglich, sollen die Schüler im Unterricht an Experimenten (6 B) beteiligt werden, selbständig Schülerversuche durchführen und zu einfachen Heimversuchen (6 FZ) angeregt werden; dabei soll auch der fachgerechte, sicherheitsbewußte und schonende Umgang mit Geräten und Meßapparaturen eingeübt werden. Bei der Beschreibung physikalischer Sachverhalte ist von den Schülern eine dem jeweiligen Sachverhalt angemessene sprachliche Darstellung (6 DS) zu fordern. Insbesondere sollen die Schüler physikalische Größen und Gleichungen stets anschaulich interpretieren können.

Die Einführungsphase räumt genügend Zeit für den spielerischen Erstkontakt mit physikalischen Objekten und Methoden ein. Der Begriff der Kraft ist der Leitgedanke für die Behandlung der Teilgebiete der Mechanik in dieser Jahrgangsstufe; zur Darstellung von Kräften wird ein einfacher Vektorbegriff erarbeitet. Auch im Rahmen des Unterrichtsprojekts soll aufgrund der Themenwahl das Erlernte für die Schüler zu einem "persönlichen Gewinn" werden und ihnen ein erstes Verständnis ihrer Umwelt aus physikalischer Sicht ermöglichen.

1 Exemplarische Einführung in die Physik

(ca. 17 Std.)

Durch einfache, überschaubare und zum Teil selbst ausgeführte Experimente aus verschiedenen Teilgebieten der Physik sollen die Schüler Freude an der Beobachtung und der aktiven Erforschung der Natur gewinnen. Sie entwickeln allmählich ein Gespür für die Denk- und Arbeitsweise der Physik (6 W) und lernen, Vorgänge genau zu beobachten sowie zu beschreiben und zu erläutern (6 DS). Sie sollen dabei erkennen, daß dazu Messungen notwendig sind.

Optische Phänomene

Bilder, die durch Sammellinsen erzeugt werden

Beschreibung von Beobachtungen (6 D8); Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse im Schülerversuch; Gesetzmäßigkeiten nur qualitativ

Elektrische Phänomene

elektrischer Strom im geschlossenen Kreis; Wärme-, Leucht- und magnetische Wirkung des elektrischen Stromes

Beschränkung auf einfache Stromkreise (6 MT; 6 V: verkehrssichere Beleuchtung beim Fahrrad)

elektrische Aufladung von Körpern; Strom als Transport elektrischer Ladung; einfache Modellvorstellung vom elektrischen Stromkreis

Beschreibung und Deutung von Beobachtungen (6 DS)

Hefteintrag: "Zu Hause nur mit Taschenlampenbatterien experimentieren!"

Eine kurze Behandlung der Funktionsweise von Mikrofon und Lautsprecher kann zu akustischen Phänomenen überleiten (6 MT).

Mechanische und akustische Phänomene

schnelle und langsame Bewegungen; Begriff der mittleren Geschwindigkeit	erste Überlegungen zur Genauigkeit von Messungen; Messung der Schallgeschwindigkeit; (6 V: angepaßte Geschwindigkeit; Langstreckenfahrten und Pausen)
Schwingen von Pendeln; Schwingung, Periodendauer, Frequenz	Schülerversuch: Abhängigkeit der Periodendauer von der Länge des Pendels (6 M8: graphische Darstellung)
Tönen schnell schwingender Federn, Saiten und Membranen; Schall, Schallerzeugung	Aufnahme der Schwingung z.B. mit einem Drehspiegel
Empfangen von Schall; Bestimmung der Frequenz	Versuche mit Sinusgenerator, Lautsprecher, Mikrophon und Oszilloskop; Erläuterung des Zusammenhangs zwischen Tonhöhe und Frequenz (6 Mu8)

2 Einführung in die Mechanik (ca. 33 Std.)

2.1 Kräfte und ihre Wirkungen (ca. 13 Std.)

Die Schüler lernen systematisch die begreifbare Welt der Mechanik kennen, die die Grundlage für viele Modellvorstellungen bildet. Beschreibung, Auswertung und Dokumentation von Experimenten sollen den Schülern helfen, die dargestellten Ereignisse in einem Begriffssystem festzuhalten und einzuordnen. Zunehmend soll die Beherrschung der Fachsprache (6 D) sowie die Anwendung einfacher mathematischer Umformungen als zweckmäßig und notwendig erkannt werden. Nach der Untersuchung von Kräften in der Natur sollen die Schüler die Konstruktionsprinzipien einfacher Maschinen kennenlernen und ein altersgemäßes Verständnis kausaler Zusammenhänge erreichen.

Kräfte und ihre Wirkungen; Gleichgewicht zweier Kräfte; Trägheitssatz	Kraft als Ursache von Bewegungsänderungen und Verformungen; Beispiele aus dem täglichen Leben (6 MT, V: u.a. Prinzip des Sicherheitsgurts)
Kraft als physikalische Größe; Kraftpfeil	Altersgemäß wird die Kraft wie eine Basisgröße mit der Einheit Newton eingeführt. Herstellung eines Kraftmessers; Versuche zeigen die Notwendigkeit, Kräfte durch Betrag, Richtung und Angriffspunkt zu beschreiben.
Dehnungsverhalten von Körpern; Gesetz von Hooke	Aufnahme und Deutung von Kraft-Dehnungsdiagrammen, Diskussion des Gültigkeitsbereiches eines Gesetzes (6 M8)
Kraftwandler: Seil und Rolle, Flaschenzug	Beispiele auch aus der Geschichte der Technik (6 G)
Hebel; Drehmoment	Beschränkung auf einfache Anwendungen; Erklärung der Wirkung von Werkzeugen (6 MT)

Zusammensetzung oder Zerlegung von Kräften; schiefe Ebene Lösen von maßstäblichen Konstruktionsaufgaben mit dem "Kräfteparallelogramm" und Erarbeiten eines einfachen Vektorbegriffs (6 M); Beschränkung auf einfache Beispiele

2.2 Masse und Dichte (ca. 8 Std.)

Die Schüler gewinnen ein Verständnis für die Definition der Masse als ortsunabhängige Größe und lernen die Dichte als eine Größe kennen, die den Stoff eines homogenen Körpers kennzeichnet. Sie erfahren, daß gängige Formulierungen der Umgangssprache im fachwissenschaftlichen Kontext untauglich sein können.

Gewichtskraft eines Körpers als ortsabhängige Größe Beispiele zur Abhängigkeit der Gewichtskraft vom Ort

Masse als ortsunabhängige Größe Einführung der Masse mit der Einheit Kilogramm; Messungen mit der Balkenwaage

Zusammenhang zwischen Gewichtskraft und Masse; Ortsfaktor experimentelle Bestimmung des Ortsfaktors

Dichte als Materialkonstante experimentelle Bestimmung bei festen, flüssigen und gasförmigen Körpern (6 C9)

2.3 Druck in Flüssigkeiten und Gasen (ca. 12 Std.)

Die Schüler lernen die Kraftübertragung in Flüssigkeiten und Gasen sowie deren technische Anwendung verstehen. Sie sollen erkennen, wie der Schweredruck, insbesondere der Luftdruck, entsteht. Am Beispiel des Auftriebs sollen sich die Schüler altersgemäß mit der deduktiven Methode der Physik befassen.

gleichmäßige Druckausbreitung; Druck als abgeleitete Größe; Teilchenmodell Versuche zeigen, daß der Quotient F/A als Druck definiert werden kann. Druck als Zustandsgröße von Flüssigkeiten und Gasen

Flüssigkeiten und Gase als Medien bei Kraftwandlern Anwendungen (6 MT, V: z.B. Hebebühne, hydraulische Bremse)

Schweredruck; Luftdruck Beschränkung auf den Druckanstieg mit wachsender Tiefe im homogenen Medium (6 S; 6 GE, FZ: Gefahren beim Tauchen); Versuche mit verbundenen Gefäßen; Besprechung historischer Versuche (6 G: "Horror vacui"); Diskussion der Funktionsweise von Druckmeßgeräten (6 C9); Hinweise zum Wettergeschehen (6 MT)

Auftrieb; Gesetz von Archimedes deduktive Herleitung, experimentelle Überprüfung; Beschränkung auf einfache Berechnungen (6 M8)

Schwimmen, Schweben, Sinken

z.B. Versuche mit dem Aräometer

Für Schülerversuche sind u.a. die folgenden Themen besonders geeignet: Gesetz von Hooke, Kräftezerlegung, schiefe Ebene, Hebel, Dichte, Auftrieb

3 Unterrichtsprojekt: "Mensch und Mechanik"

(ca. 6 Std.)

Im Rahmen eines Unterrichtsprojekts erfahren die Schüler, wie sich die Arbeitsweise der Physik bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten auch auf viele Alltagsprobleme übertragen läßt und erkennen dadurch, daß ihr eigenes Tun und Handeln in vielen Bereichen von physikalischen Gesetzen geprägt ist (6 W). Manuelle Tätigkeiten und geistiges Arbeiten sollen abwechseln. Die Schüler sollen hierbei selbständig und im Team arbeiten sowie ihre eigenen Ideen einbringen.

Die folgenden Themen haben Vorschlagscharakter; es sind auch andere zum Themenbereich "Mensch und Mechanik" denkbar. Je nach Themenwahl und Schwerpunktbildung ergeben sich verschiedene fächerübergreifende Bezüge. Damit die Schüler gerne arbeiten, sollen sie bei der Wahl des Themas mitwirken können.

- Bau und Anwendung einfacher Flaschenzüge (6 G, S; 6 FZ, MT)
- Kraftübertragung beim Fahrrad; Prinzip der Gangschaltung (6 FZ, MT)
- Planung, Bau und Erprobung eines Druckmeßgerätes, z.B. "Tiefenmesser", Prinzip der Blutdruckmessung (6 GE, FZ)
- Auftrieb verschiedener Körper (6 B: z.B. Schwimmblase); Modell eines Schwimmdocks
- Physik und Sport, z.B. Kräfte beim Skifahren, Prinzip der Sicherheitsbindung (6 S; 6 GE, FZ)

Jahrgangsstufe 9

(MNG 2)

Der Physikunterricht in der Jahrgangsstufe 9 soll das naturwissenschaftliche Grundwissen der Schüler weiter ausbauen und bei ihnen das Bedürfnis nach schärferer Begriffsbildung wecken.

Mit dem Begriff der Energie, der die Gebiete Mechanik und Wärmelehre miteinander verknüpft, lernen die Schüler eine physikalische Größe kennen, unter der sich ihr Wissen über Naturvorgänge ordnen läßt. Sie erhalten so einen Eindruck von der Tragweite allgemeiner Prinzipien in den Erfahrungswissenschaften (6 W).

Mit der Strahlenoptik wird den Schülern ein leistungsfähiges Modell vermittelt, das unter Zuhilfenahme geometrischer Sätze nicht nur viele optische Erscheinungen erklären kann, sondern auch erlaubt, Vorhersagen über den Ablauf optischer Experimente zu machen.

1 Mechanische Energie

(ca. 9 Std.)

Die Schüler sollen einen Einblick in die Herkunft der Reibungskräfte und deren Bedeutung in der Umwelt erhalten. Ausgehend von Betrachtungen zur Kraft-Weg-Abhängigkeit bei reibungsfreien Kraftwandlern wird der Alltagsbegriff "Arbeit" zu einer physikalischen Größe präzisiert, die dann auch bei Bewegungen mit Reibung verwendet werden kann. Verschiedene Möglichkeiten, Arbeit zu speichern, führen zum Begriff der Energie. An Beispielen aus ihrer Erfahrungswelt lernen die Schüler die verschiedenen Erscheinungsformen mechanischer Energie kennen; zudem sollen sie sich der großen Bedeutung der Umwandlungen der einzelnen Energieformen ineinander bewußt werden.

Reibung; Reibungskraft

Zusammenhang zwischen Normal- und Reibungskraft; Reibung als erwünschter und unerwünschter Effekt (6 MT, V: Bedeutung der Reibung bei Fahrzeugen, Technik der Bremsen)

"Goldene Regel der Mechanik", mechanische Arbeit;
Energie, Arbeit als Größe zur Messung der übertragenen Energie

Die Beschäftigung mit mechanischen Kraftwandlern führt zum Erkennen des gemeinsamen Prinzips aller reibungsfreien Kraftwandler (6 G); die gegenseitigen Bezüge zwischen Arbeit und Energie werden dabei sichtbar.

mechanische Energieformen; Energieumwandlungen; Energieerhaltung für reibungsfreie mechanische Systeme

Herleitung der Formel für die Höhenenergie; Mitteilung der Formeln für die Spann- und die Bewegungsenergie, Erläuterung dieser Formeln sowie der Umrechnung der Einheiten (6 M9; 6 V: u.a. Bremswege, Aufprallenergie bei verschiedenen Geschwindigkeiten)

Wirkungsgrad; Leistung

Festigung und Vertiefung durch Anwendungsbeispiele (6 MT)

Für Schülerversuche sind besonders folgende Themen geeignet: Zusammenhang zwischen Normal- und Reibungskraft, Wirkungsgrad einfacher Maschinen

2 Wärmelehre (ca. 22 Std.)

2.1 Ausdehnung bei Erwärmung (ca. 10 Std.)

Die durch subjektives Wärmeempfinden bedingte "Täuschbarkeit der menschlichen Wahrnehmung" verdeutlicht den Schülern die Notwendigkeit reproduzierbarer Temperaturmessungen. Sie erhalten einen Einblick in die Bedeutung des thermischen Ausdehnungsverhaltens von Körpern in Natur und Technik. Der Sonderfall der stoffunabhängigen Gasausdehnung führt zum Verständnis der in der Physik üblichen Festlegung des Nullpunkts der absoluten Temperatur. Die Schüler lernen, wie man aus der Verknüpfung der experimentell gewonnenen Gasgesetze die Zustandsgleichung idealer Gase durch Deduktion gewinnen kann, und sollen den Sinn der Erweiterung des Temperaturbegriffs mit Hilfe idealer Gase erfassen.

Temperatur und ihre Messung	Celsiusskala (6 G)
Volumenänderung von festen und flüssigen Körpern bei Temperaturänderung; Anomalie des Wassers	Beschränkung auf qualitative Untersuchungen (6 Ek8; 6 MT: Bedeutung des Ausdehnungsverhaltens in Natur und Technik)
Volumenänderung von Gasen bei Temperaturänderung; absolute Temperatur und Temperaturskala	Bestimmung des Volumens in Abhängigkeit von der Temperatur für verschiedene Ausgangsvolumina bei konstantem Druck, möglichst im Schülerversuch
Gesetze von Gay-Lussac sowie von Boyle und Mariotte	induktive Herleitung (6 M: direkte und indirekte Proportionalität)
Zustandsgleichung idealer Gase	deduktive Herleitung (6 M) in der Form: $pV/T = const.$

Die Gesetze von Gay-Lussac sowie von Boyle und Mariotte werden mit der induktiven, die Zustandsgleichung mit der deduktiven Methode gewonnen. Die Gasgesetze bieten so die Möglichkeit, diese beiden auch für andere Wissenschaften wichtigen Methoden der Erkenntnisgewinnung in der Physik beispielhaft anzuwenden.

2.2 Innere Energie und Energieerhaltung (ca. 12 Std.)

Die Schüler lernen, die durch Reibung verursachte Temperaturerhöhung als ein Maß für die "verschwundene" mechanische Energie zu interpretieren. Sie sollen erkennen, daß durch die Einführung des Begriffs der Inneren Energie der Energieerhaltungssatz über die Mechanik hinaus ausgedehnt werden kann. Die atomistische Deutung der Wärmeerscheinungen dient der Zusammenschau und Ordnung des Wissens (6 DS, W). Die Schüler erwerben Grundlagen zum Verständnis und zur Beurteilung von wärmeenergetischen Fragen der Umwelt (6 B) und lernen in exemplarischer Behandlung die Wärmeenergiemaschinen als Energiewandler kennen. An den zeitaufwendigen Versuchen wird den Schülern bewußt, daß Sorgfalt, Geduld und Ausdauer vielfach benötigte Tugenden sind.

Zusammenhang zwischen Energiezufuhr durch Reibungsarbeit und Temperaturerhöhung	Versuche zur Reibungsarbeit, die zeigen: $W_R = cm^a$
---	--

spezifische Wärmekapazität als Materialkonstante	typische Werte, Erläuterung der Bedeutung für das Klima
Innere Energie und Erweiterung des Energieerhaltungssatzes	Deutung der experimentellen Befunde: Die "verschwundene" mechanische Energie hat sich in "innere" Energie verwandelt (6 C9 bzw. C11: Enthalpie)
Wärme als Größe zur Messung der übertragenen Energie	Deutung des Übergangs von Innerer Energie von einem "warmen" Körper auf einen "kalten" als Wärmetransport; Verdeutlichen des Unterschieds von Temperatur und Wärme
Bewegungsenergie der ungeordneten Teilchenbewegung als eine Form der Inneren Energie	Versuche zur Brownschen Bewegung; Beschreibung und Deutung makroskopischer Phänomene mit Hilfe der Modellvorstellung (6 DS)
Änderung des Aggregatzustands und Innere Energie	Diskussion der Phänomene; Beschränkung auf einfache, exemplarische Rechnungen
technische Nutzung Innerer Energie in Energiewandlern	Entwicklung und Bedeutung der Energiewandler; Dampfmaschine, Verbrennungsmotor (6 D9, WR9, G); reversible und irreversible Vorgänge, Energieentwertung; Diskussion von Umweltfragen (6 U) und Zukunftsperspektiven (6 V, BO)

Für Schülerversuche eignen sich besonders: Bestimmung spezifischer Wärmekapazitäten von flüssigen und festen Körpern, Aufnahme der Zeit-Temperaturkurve bei Änderung des Aggregatzustands und deren energetische Deutung

3 Einführung in die Strahlenoptik (ca. 19 Std.)

3.1 Grunderscheinungen des Lichts (ca. 6 Std.)

Die Schüler lernen eine Vielzahl interessanter Eigenschaften des Lichts kennen. Das Strahlenmodell erlaubt ihnen, die Ergebnisse vieler optischer Experimente vorherzusagen bzw. scheinbar verschiedene Phänomene geschlossen zu deuten. Der Praxisbezug geometrischer Verfahren (6 M) soll ihnen bei der Erklärung der Bildentstehung am ebenen Spiegel deutlich werden.

Lichtquellen; Lichtbündel und Lichtstrahlen	selbstleuchtende bzw. beleuchtete Körper (6 V: "Sehen und Gesehenwerden"); Diskussion von Modellvorstellungen
geradlinige Ausbreitung des Lichts; Lichtgeschwindigkeit	Schatten, Mond- und Sonnenfinsternisse (6 Ek); Aufzeigen des Prinzips von der Umkehrbarkeit des Lichtwegs; Hinweis auf die Bedeutung der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts
diffuse und gerichtete Reflexion; Reflexionsgesetz; virtuelles Bild	Entdecken der Eigenschaften von Bildern am ebenen Spiegel (6 M: Spiegelungsbegriff)
Brechung von Lichtstrahlen; Totalreflexion	qualitative Behandlung; Besprechung von Natur-

und Himmelserscheinungen (6 W) und technischen Anwendungen (6 MT, DS)

3.2 Abbildung durch Sammellinsen; optische Instrumente (ca. 9 Std.)

Über die Abbildung durch Lichtbündel sollen die Schüler die Entstehung der beobachteten reellen und virtuellen Bilder bei Sammellinsen verstehen. Sie lernen optische Instrumente und deren Entwicklung als Beispiele für die Wechselwirkung zwischen Wissenschaft und Technik kennen. Der weite Anwendungsbereich optischer Instrumente verdeutlicht den Schülern, daß die Menschen erst durch diese Hilfsmittel den Zugang zum Mikro- und Makrokosmos erhielten, den ihnen das Auge allein nicht erschließen kann (6 W).

optische Eigenschaften von Sammellinsen	Wiederholung von Grundlagen (vgl. Ph8)
Entstehung reeller und virtueller Bilder	Bildkonstruktionen und Bestätigung im Versuch; Beschränkung auf dünne Linsen und achsennahe Strahlen
Linsengleichungen	geometrische Herleitung (6 M9)
Auge	Bildentstehung im Auge (6 B10; 6 V: Gefahren durch optische Beeinträchtigungen)
optische Instrumente	zwei der folgenden Instrumente sollen ausführlich behandelt werden (6 FZ): Photoapparat, Projektionsapparat, Kepler-Fernrohr (6 G), Mikroskop (6 B9)

3.3 Dispersion und Farben von Licht (ca. 4 Std.)

Die physikalische Behandlung der Farben vermittelt den Schülern einen Einblick sowohl in Grundlagen der Farbmischung als auch in moderne technische Verfahren zur Herstellung farbiger Bilder (6 MB).

Dispersion von Licht; Spektralfarben; additive und subtraktive Farbmischung	Hinweis auf Regenbogenfarben; Erzeugung farbiger Bilder (6 Ku); Hinweis auf das Farbhsehen als Ergebnis eines physiologischen Prozesses (6 B10)
---	---

Gerade in der Optik sind Schülerversuche motivierend und überzeugend. Für Reflexionsgesetz, Brechung und Totalreflexion eignen sich u.a. "Stecknadelversuche". Ferner bieten sich folgende Themen für Schülerversuche an: Eigenschaften von Sammellinsen, Aufbau und Funktionsweise einfacher optischer Geräte

4 Unterrichtsprojekt (ca. 6 Std.)

Im Rahmen eines Unterrichtsprojekts aus den Bereichen Mechanik, Wärmelehre oder Optik beschäftigen sich die Schüler mit Objekten und Vorgängen aus ihrer Erfahrungswelt. Durch möglichst weitgehende Beteiligung an allen Schritten, die zur Bewältigung der Aufgaben im Projekt notwendig sind, erwerben sie die Fähigkeit zu selbständigem Arbeiten.

Die folgenden Themen haben Vorschlagscharakter. Je nach Themenwahl und Schwerpunktbildung ergeben sich verschiedene fächerübergreifende Bezüge. Damit die Schüler gerne arbeiten, sollen sie bei der Wahl des Themas mitwirken können.

- erwünschte und unerwünschte Reibung an Fahrzeugen (6 V, MT)

- experimentelle Bestimmung des Wirkungsgrades verschiedener Kocher; Vorschläge zur Verbesserung des Wirkungsgrades (6 MT, U)
- historische Entwicklung von Energiewandlern, Bau einfacher Modelle (6 G)
- Bau einer Lochkamera, Herstellung einfacher Photographien (6 FZ); Diskussion von Verbesserungsmöglichkeiten
- optische Wahrnehmung (6 B, G: z.B. Entwicklung des Linsenfernrohrs); Beobachtungen mit selbst gebauten Fernrohren; optische Zeichenhilfen (6 Ku); subjektive Sinneswahrnehmungen und objektive photometrische Größen (6 W)

Jahrgangsstufe 9

(HG, NG, WWG, SWG 1)

Der Physikunterricht in der Jahrgangsstufe 9 verfolgt die in der Jahrgangsstufe 8 angestrebten Ziele weiter. Er soll das naturwissenschaftliche Grundwissen weiter ausbauen und den Schülern einen Weg zu einer positiven Grundeinstellung gegenüber Naturwissenschaft und Technik eröffnen. Dabei steht er am Humanistischen, Neusprachlichen, Wirtschaftswissenschaftlichen und Sozialwissenschaftlichen Gymnasium vor der pädagogisch wie didaktisch schwierigen Aufgabe, die Kenntnisse in nur einer Wochenstunde vermitteln und sichern zu müssen.

Der Begriff der mechanischen Energie erfährt eine zentrale Behandlung. Mit der Strahlenoptik wird den Schülern ein leistungsfähiges Modell vermittelt, das unter Zuhilfenahme geometrischer Sätze nicht nur viele optische Erscheinungen erklären kann, sondern auch erlaubt, Vorhersagen über den Ablauf optischer Experimente zu machen.

1 Mechanische Energie

(ca. 9 Std.)

Die Schüler sollen einen Einblick in die Herkunft der Reibungskräfte und deren Bedeutung in der Umwelt erhalten. Ausgehend von Betrachtungen zur Kraft-Weg-Abhängigkeit bei reibungsfreien Kraftwandlern wird der Alltagsbegriff "Arbeit" zu einer physikalischen Größe präzisiert, die dann auch bei Bewegungen mit Reibung verwendet werden kann. Verschiedene Möglichkeiten, Arbeit zu speichern, führen zum Begriff der Energie. An Beispielen aus ihrer Erfahrungswelt lernen die Schüler die verschiedenen Erscheinungsformen mechanischer Energie kennen; zudem sollen sie sich der großen Bedeutung der Umwandlungen der einzelnen Energieformen ineinander bewußt werden.

Reibung; Reibungskraft

Zusammenhang zwischen Normal- und Reibungskraft; Reibung als erwünschter und unerwünschter Effekt (6 MT, V: Bedeutung der Reibung bei Fahrzeugen, Technik der Bremsen)

"Goldene Regel der Mechanik", mechanische Arbeit;
Energie, Arbeit als Größe zur Messung der übertragenen Energie

Die Beschäftigung mit mechanischen Kraftwandlern führt zum Erkennen des gemeinsamen Prinzips aller reibungsfreien Kraftwandler (6 G); die gegenseitigen Bezüge zwischen Arbeit und Energie werden dabei sichtbar.

mechanische Energieformen; Energieumwandlungen; Energieerhaltung für reibungsfreie

Herleitung der Formel für die Höhenenergie; Mitteilung der Formeln für die Spann- und die

Die physikalische Behandlung der Farben vermittelt den Schülern einen Einblick sowohl in Grundlagen der Farbmischung als auch in moderne technische Verfahren zur Herstellung farbiger Bilder (6 MB).

Dispersion von Licht; Spektralfarben; additive und subtraktive Farbmischung Hinweis auf Regenbogenfarben; Erzeugung farbiger Bilder (6 Ku); Hinweis auf das Farbsehen als Ergebnis eines physiologischen Prozesses (6 B10)

Gerade in der Optik sind Schülerversuche motivierend und überzeugend. Für Reflexionsgesetz, Brechung und Totalreflexion eignen sich u.a. "Stecknadelversuche".

3 Unterrichtsprojekt "Optische Wahrnehmung"

(ca. 4 Std.)

Im Rahmen dieses Unterrichtsprojekts beschäftigen sich die Schüler mit der Bildentstehung im Auge (6 B10) und dem Aufbau von optischen Instrumenten. An wenigstens einem der folgenden Beispiele sollen sie das Bauprinzip optischer Instrumente kennen- und verstehen lernen (6 G; 6 FZ): Photoapparat, Projektionsapparat, Kepler-Fernrohr, Mikroskop (6 B9)

Jahrgangsstufe 9

(MuG 2)

Am Musischen Gymnasium setzt der Physikunterricht erst in der Jahrgangsstufe 9 ein. Dennoch sollen die Schüler bis zum Schuljahresende etwa den gleichen Kenntnisstand erreichen wie die Schüler der anderen nicht mathematisch-naturwissenschaftlichen Ausbildungsrichtungen. Auf die "Exemplarische Einführung in die Physik" und einzelne Lerninhalte muß deshalb verzichtet werden.

Um die Freude am Fach Physik zu wecken, ist im besonderen Maße auf Eigentätigkeiten der Schüler Wert zu legen. Wo immer möglich, sollen die Schüler im Unterricht an Experimenten (6 B) beteiligt werden, selbständig Schülerversuche durchführen und zu einfachen Heimversuchen (6 FZ) angeregt werden; dabei soll der fachgerechte, sicherheitsbewußte und schonende Umgang mit Geräten und Meßapparaturen eingeübt werden. Die Beschäftigung mit einem Unterrichtsprojekt soll die Schüler darüber hinaus zu selbständigem Arbeiten anleiten, ihre aktive Beteiligung an einem gemeinsamen Vorhaben fördern und sie zu konstruktiver Zusammenarbeit in einer Gruppe hinführen. Bei der Beschreibung physikalischer Sachverhalte ist von den Schülern eine dem jeweiligen Sachverhalt angemessene sprachliche Darstellung (6 DS) zu fordern. Insbesondere sollen die Schüler physikalische Größen und Gleichungen stets anschaulich interpretieren können.

Die anschauliche Einführung in die physikalischen Erscheinungen in der Mechanik und Optik steht im Vordergrund. Die Schüler werden für das Beobachten der Natur und der technischen Umwelt aufgeschlossen (6 W). Die Begriffsbildung stützt sich auf die von den Schülern bereits gemachten Erfahrungen. Vor dem Erarbeiten exakter Definitionen soll nach dem Grundsatz des entdeckenden Lernens ein möglichst weitreichendes Vorverständnis angestrebt werden.

Der Begriff der Kraft steht als Leitgedanke den Kapiteln aus der Mechanik voran; mit dem Begriff der mechanischen Energie lernen die Schüler eine physikalische Größe kennen, unter der sich ihr Wissen über Naturvorgänge ordnen läßt; sie erhalten dabei einen ersten Einblick in die Tragweite allgemeiner Prinzipien in den Erfahrungswissenschaften (vgl. Ph10; 6 W). Mit der Strahlenoptik wird den Schülern ein leistungsfähiges Modell vermittelt, das unter Zuhilfenahme geometrischer Sätze nicht nur viele optische Erscheinungen erklären kann, sondern auch erlaubt, Vorhersagen über den Ablauf optischer Experimente zu machen.

1 Einführung in die Mechanik (ca. 27 Std.)

1.1 Kräfte und ihre Wirkungen (ca. 11 Std.)

Die Schüler lernen systematisch die begreifbare Welt der Mechanik kennen, die die Grundlage für viele Modellvorstellungen bildet. Beschreibung, Auswertung und Dokumentation von Experimenten sollen den Schülern helfen, die dargestellten Ereignisse in einem Begriffssystem festzuhalten und einzuordnen. Zunehmend soll die Beherrschung der Fachsprache (6 D) sowie die Anwendung einfacher mathematischer Umformungen als zweckmäßig und notwendig erkannt werden. Nach der Untersuchung von Kräften in der Natur sollen die Schüler die Konstruktionsprinzipien einfacher Maschinen kennenlernen und ein altersgemäßes Verständnis kausaler Zusammenhänge erreichen.

Kräfte und ihre Wirkungen; Gleichgewicht zweier Kräfte; Trägheitssatz	Kraft als Ursache von Bewegungsänderungen und Verformungen; Beispiele aus dem täglichen Leben (6 MT, V: u.a. Prinzip des Sicherheitsgurts)
---	--

Kraft als physikalische Größe;	Altersgemäß wird die Kraft wie eine Basisgröße
--------------------------------	--

Kraftpfeil	mit der Einheit Newton eingeführt. Herstellung eines Kraftmessers; Versuche zeigen die Notwendigkeit, Kräfte durch Betrag, Richtung und Angriffspunkt zu beschreiben.
Dehnungsverhalten von Körpern; Gesetz von Hooke	Aufnahme und Deutung von Kraft-Dehnungsdiagrammen, Diskussion des Gültigkeitsbereiches eines Gesetzes (6 M8)
Kraftwandler: Seil und Rolle, Flaschenzug	Beispiele auch aus der Geschichte der Technik (6 G)
Zusammensetzung oder Zerlegung von Kräften; schiefe Ebene	Lösen von maßstäblichen Konstruktionsaufgaben mit dem "Kräfteparallelogramm" und Erarbeiten eines einfachen Vektorbegriffs (6 M); Beschränkung auf einfache Beispiele

1.2 Masse und Dichte (ca. 6 Std.)

Die Schüler gewinnen ein Verständnis für die Definition der Masse als ortsunabhängige Größe und lernen die Dichte als eine Größe kennen, die den Stoff eines homogenen Körpers kennzeichnet. Sie erfahren, daß gängige Formulierungen der Umgangssprache im fachwissenschaftlichen Kontext untauglich sein können.

Gewichtskraft eines Körpers als ortsabhängige Größe	Beispiele zur Abhängigkeit der Gewichtskraft vom Ort
Masse als ortsunabhängige Größe	Einführung der Masse mit der Einheit Kilogramm; Messungen mit der Balkenwaage
Zusammenhang zwischen Gewichtskraft und Masse; Ortsfaktor	experimentelle Bestimmung des Ortsfaktors
Dichte als Materialkonstante	experimentelle Bestimmung bei festen, flüssigen und gasförmigen Körpern (6 C9)

1.3 Druck in Flüssigkeiten und Gasen (ca. 10 Std.)

Die Schüler lernen die Kraftübertragung in Flüssigkeiten und Gasen sowie deren technische Anwendung verstehen. Sie sollen erkennen, wie der Schweredruck, insbesondere der Luftdruck, entsteht. Am Beispiel des Auftriebs sollen sich die Schüler altersgemäß mit der deduktiven Methode der Physik befassen.

gleichmäßige Druckausbreitung; Druck als abgeleitete Größe; Teilchenmodell Flüssigkeiten und Gase als Medien bei Kraftwandlern	Versuche zeigen, daß der Quotient F/A als Druck definiert werden kann. Druck als Zustandsgröße von Flüssigkeiten und Gasen Anwendungen (6 MT, V: z.B. Hebebühne, hydraulische Bremse)
Schweredruck; Luftdruck	Beschränkung auf den Druckanstieg mit wachsender Tiefe im homogenen Medium (6 S; 6 GE, FZ: Gefahren beim Tauchen); Versuche mit ver-

	bundenen Gefäßen; Besprechung historischer Versuche (6 G: "Horror vacui"); Funktionsprinzip von Druckmeßgeräten; Hinweise zum Wettergeschehen (6 MT)
Auftrieb; Gesetz von Archimedes	deduktive Herleitung, experimentelle Überprüfung; Beschränkung auf einfache Berechnungen (6 M8)
Schwimmen, Schweben, Sinken	z.B. Versuche mit dem Aräometer

Für Schülerversuche sind u.a. die folgenden Themen besonders geeignet: Gesetz von Hooke, Kräftezerlegung, schiefe Ebene, Dichte, Auftrieb

2 Mechanische Energie

(ca. 9 Std.)

Die Schüler sollen einen Einblick in die Herkunft der Reibungskräfte und deren Bedeutung in der Umwelt erhalten. Ausgehend von Betrachtungen zur Kraft-Weg-Abhängigkeit bei reibungsfreien Kraftwandlern wird der Alltagsbegriff "Arbeit" zu einer physikalischen Größe präzisiert, die dann auch bei Bewegungen mit Reibung verwendet werden kann. Verschiedene Möglichkeiten, Arbeit zu speichern, führen zum Begriff der Energie. An Beispielen aus ihrer Erfahrungswelt lernen die Schüler die verschiedenen Erscheinungsformen mechanischer Energie kennen; zudem sollen sie sich der großen Bedeutung der Umwandlungen der einzelnen Energieformen ineinander bewußt werden.

Reibung; Reibungskraft	Zusammenhang zwischen Normal- und Reibungskraft; Reibung als erwünschter und unerwünschter Effekt (6 MT, V: Bedeutung der Reibung bei Fahrzeugen, Technik der Bremsen)
"Goldene Regel der Mechanik", mechanische Arbeit; Energie, Arbeit als Größe zur Messung der übertragenen Energie	Die Beschäftigung mit mechanischen Kraftwandlern führt zum Erkennen des gemeinsamen Prinzips aller reibungsfreien Kraftwandler (6 G); die gegenseitigen Bezüge zwischen Arbeit und Energie werden dabei sichtbar.
mechanische Energieformen; Energieumwandlungen; Energieerhaltung für reibungsfreie mechanische Systeme	Herleitung der Formel für die Höhenenergie; Mitteilung der Formeln für die Spann- und die Bewegungsenergie, Erläuterung dieser Formeln sowie der Umrechnung der Einheiten (6 M9; 6 V: u.a. Bremswege, Aufprallenergie bei verschiedenen Geschwindigkeiten)
Wirkungsgrad; Leistung	Festigung und Vertiefung durch Anwendungsbeispiele (6 MT)

Für Schülerversuche sind besonders folgende Themen geeignet: Zusammenhang zwischen Normal- und Reibungskraft, Wirkungsgrad einfacher Maschinen

3 Einführung in die Strahlenoptik

(ca. 16 Std.)

3.1 Grunderscheinungen des Lichts

(ca. 6 Std.)

Die Schüler lernen eine Vielzahl interessanter Eigenschaften des Lichts kennen. Das Strahlenmodell erlaubt ihnen, die Ergebnisse vieler optischer Experimente vorherzusagen bzw. scheinbar verschiedene Phänomene zu deuten. Der Praxisbezug geometrischer Verfahren (6 M) soll ihnen bei der Erklärung der Bildentstehung am ebenen Spiegel deutlich werden.

Lichtquellen; Lichtbündel und Lichtstrahlen	selbstleuchtende bzw. beleuchtete Körper (6 V: "Sehen und Gesehenwerden"); Diskussion von Modellvorstellungen
geradlinige Ausbreitung des Lichts; Lichtgeschwindigkeit	Schatten, Mond- und Sonnenfinsternisse (6 Ek); Aufzeigen des Prinzips von der Umkehrbarkeit des Lichtwegs; Hinweis auf die Bedeutung der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts
diffuse und gerichtete Reflexion; Reflexionsgesetz; virtuelles Bild	Entdecken der Eigenschaften von Bildern am ebenen Spiegel (6 M: Spiegelungsbegriff)
Brechung von Lichtstrahlen; Totalreflexion	qualitative Behandlung; Besprechung von Natur- und Himmelserscheinungen (6 W) und technischen Anwendungen (6 MT, DS)

3.2 Abbildung durch Sammellinsen (ca. 6 Std.)

Über die Abbildung durch Lichtbündel sollen die Schüler die Entstehung der beobachteten reellen und virtuellen Bilder bei Sammellinsen verstehen.

optische Eigenschaften von Sammellinsen	Grundlagen im Schülerversuch
Entstehung reeller und virtueller Bilder	Bildkonstruktionen und Bestätigung im Versuch (6 B9); Beschränkung auf dünne Linsen und achsennahe Strahlen
Linsengleichungen	geometrische Herleitung (6 M9)

3.3 Dispersion und Farben von Licht (ca. 4 Std.)

Die physikalische Behandlung der Farben vermittelt den Schülern einen Einblick sowohl in Grundlagen der Farbmischung als auch in moderne technische Verfahren zur Herstellung farbiger Bilder (6 MB).

Dispersion von Licht; Spektralfarben; additive und subtraktive Farbmischung	Hinweis auf Regenbogenfarben; Erzeugung farbiger Bilder (6 Ku); Hinweis auf das Farbsehen als Ergebnis eines physiologischen Prozesses (6 B10)
---	--

Gerade in der Optik sind Schülerversuche motivierend und überzeugend. Für Reflexionsgesetz, Brechung und Totalreflexion eignen sich u.a. "Stecknadelversuche".

4 Unterrichtsprojekt "Optische Wahrnehmung" (ca. 4 Std.)

Im Rahmen dieses Unterrichtsprojekts beschäftigen sich die Schüler mit der Bildentstehung im Auge (6 B10) und dem Aufbau von optischen Instrumenten. An wenigstens einem der folgenden Beispiele sollen sie das Bauprinzip optischer Instrumente kennen- und verstehen lernen (6 G; 6 FZ): Photoapparat, Projektionsapparat, Kepler-Fernrohr, Mikroskop (6 B9)

Jahrgangsstufe 10

(2, MNG 3)

Das modellhafte und das quantitative Erfassen der Phänomene der Elektrizitätslehre sowie die darauf beruhenden technischen Anwendungen stehen in der Jahrgangsstufe 10 im Mittelpunkt des Physikunterrichts. Ergänzt werden diese Inhalte durch Einblicke in Fragen der Energiewirtschaft, der Kernenergie- und der Nachrichtentechnik.

Die an das Fach Physik von außen herangetragenen Anforderungen in bezug auf neue Technologien und deren gesellschaftliche Auswirkungen nehmen einen immer umfangreicheren Raum ein. Dies hat zur Folge, daß einige traditionelle Lerninhalte nur exemplarisch behandelt werden können.

Die mit (*) gekennzeichneten Lerninhalte können nur am **Mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasium** ausführlich behandelt werden. In allen anderen Ausbildungsrichtungen sind diese Lerninhalte nur in dem Umfang zu behandeln, wie es für das Verständnis des Folgenden unbedingt notwendig ist. Dies beinhaltet, daß einzelne Gesetze u.U. nur mitgeteilt werden und man sich bei der Bearbeitung von Aufgaben auf die einfachsten Fälle beschränkt.

Am **Mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasium** besteht Wahlpflicht für zwei Addita; darüber hinaus sollen sich die vorgesehenen größeren Stundenzahlen auch in erweiterten Übungsmöglichkeiten für die Schüler niederschlagen.

1 Elektrizitätslehre und Elektrotechnik

(ca. 34 Std., MNG ca. 44 Std.)

1.1 Grundlagen der Elektrizitätslehre und Modellvorstellungen

(ca. 19 Std., MNG ca. 27 Std.)

Durch die Erarbeitung von Modellvorstellungen (6 W) zum elektrischen Stromkreis und zum Aufbau der Materie werden für die Schüler wesentliche elektrische Größen und Erscheinungen verständlich. Die Schüler werden zudem in die Lage versetzt, selbst Erklärungen für Beobachtungen zu finden oder sogar bei Experimenten die Ergebnisse vorauszusagen (6 DS).

Modellvorstellung vom elektrischen Strom; Ladungsbegriff Wiederholung und Vertiefung von Grundbegriffen (vgl. Ph8 außer MuG)

Kräfte zwischen ruhenden Ladungen Mitteilung eines einfachen Atommodells

Stromstärke als physikalische Größe exemplarische Begriffsbildung (6 D); Festlegung durch die magnetische Wirkung (Drehspulinstrument)

elektrische Ladung Definition von $Q = It$ bei konstanter Stromstärke, Erweiterung zu $I = \frac{dQ}{dt}$; Klären von Fehlvor-

	stellungen
elektrische Spannung (*)	zunächst Einführung wie eine Basisgröße, schrittweise Präzisierung des Begriffs
elektrischer Widerstand; Gesetz von Ohm	klare begriffliche Trennung der Definition des Widerstands und der Aussage des Gesetzes von Ohm
elektrische Arbeit und Leistung (*)	quantitative Versuche zu $W = UIt$; Ausschärfung des Spannungsbegriffs zu $U = W/Q$ bzw. $U = P/I$
Stromstärken und Spannungen in einfachen zusammengesetzten Schaltungen (*)	Reihen- und Parallelschaltung als strukturbildende Elemente (6 M), deren Kenntnis auch die Analyse komplexerer Schaltungen zuließe; Anwendung bei Stromkreisen im Haushalt (6 MT, GE: Schutzkontakt)
wiederholende Zusammenschau der bisher behandelten elektrischen Größen	Üben und Festigen durch Bearbeitung anwendungsorientierter Aufgaben
Stromfluß im Vakuum, Glühemission; Wechselspannung, Gleichspannung; technische Stromrichtung	Vertiefung der Modellvorstellung vom elektrischen Strom; Vakuumdiode als technische Anwendung; Ablenkung von Elektronenstrahlen im Oszilloskop

1.2 Grundbegriffe der Elektrotechnik

(ca. 15 Std., MNG ca. 17 Std.)

Die Schüler lernen den Begriff des Feldes zur anschaulichen Beschreibung von Kraftwirkungen kennen. Sie erhalten einen Überblick über die von Strömen verursachten Magnetfelder und deren Kraftwirkungen auf bewegte Ladungen. In den darauf beruhenden technischen Anwendungen erleben sie die Elektrodynamik als eine der Voraussetzungen für unsere heutige hochtechnisierte Welt (6 BO, MT).

Magnetfelder von Strömen und Dauermagneten; Magnetisierung von Eisen	Veranschaulichung durch Feldlinien, Merkgel für deren Richtung
Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld	Merkgel für die Krafrichtung; Elektromotor als Anwendung (6 MT, V: Verkehr und Umwelt)
Lorentzkraft; Prinzip der Bilderzeugung im Fernsehgerät	Vergleich mit der elektrostatischen Ablenkung im Oszilloskop
Induktion im bewegten Leiter; Lenzsche Regel	Anwendung: Generator für Wechselstrom und Gleichstrom (*)
Induktion im ruhenden Leiter	Transformator als technische Anwendung
Energietransport mit Hilfe der Hochspannungstechnik (*)	Hinweis auf das europäische Strom-Verbundsystem (6 EU)

Für Schülerübungen bieten sich die folgenden Themen an: Spannung-Strom-Kennlinien verschiedener Leiter, Reihen- und Parallelschaltung von Leitern, Magnetfelder von Strömen und Dauermagneten, Induktion

2 Wärme, Innere Energie und Energieerhaltung (ca. 12 Std., entfällt für MNG)

Für die nicht mathematisch-naturwissenschaftlichen Ausbildungsrichtungen ist hier der Themenkreis "Innere Energie und Energieerhaltung" (6 C11) aus der Wärmelehre (siehe Jahrgangsstufe 9 MNG Abschnitt 2.2) vorgesehen. Dieser bildet eine direkte Vorbereitung für den Lerninhalt Energietechnik.

3 Einblick in die Energietechnik (ca. 6 Std., MNG ca. 6 Std.)

Überlegungen, daß nutzbare Energie nur in begrenztem Ausmaß zur Verfügung steht und deshalb sparsam mit ihr umgegangen werden muß, bilden den Einstieg in dieses stark anwendungsorientierte Kapitel. Dazu gehört auch die Einsicht, daß selbst unter der Annahme von unbegrenzt zur Verfügung stehenden Energievorräten diese wegen der globalen Erwärmung der Erde nur in eingeschränktem Maße genutzt werden können. Als direkte Folgerung daraus sollen die Schüler erkennen, daß nach neuen umweltverträglichen Energiequellen, nach möglichst wirtschaftlichen Übertragungsarten und nach Möglichkeiten der Energieeinsparung gesucht werden muß (6 U, P, FR).

Wärme Kraftwerke; regenerative Energiequellen	Verbrennung fossiler Energieträger (6 C10, B10); Kernenergie (6 U, P)
--	---

Entwicklung des Weltumsatzes an nutzbarer Energie; Verteilung des Umsatzes auf die verschiedenen Verbraucher	Möglichkeiten der Energieeinsparung (6 WR, Sk10); Folgerungen für das tägliche Leben (6 K10, Ev10, Eth10; 6 U, V)
--	---

Wird am Mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasium das Additum "Physikalische Grundlagen der Kernenergietechnik" behandelt, so ist dieses vor diesem Kapitel einzuplanen. In allen anderen Fällen wird man sich bei diesem Thema auf eine mehr mitteilende Form der Wissensvermittlung beschränken müssen.

4 Unterrichtsprojekt: "Ambivalenz der Technik"

(ca. 4 Std., MNG ca. 6 Std.)

Im Rahmen dieses Unterrichtsprojekts beschäftigen sich die Schüler mit technischen Objekten, Vorgängen und Problemen ihrer Erfahrungswelt (6 MT). Sie versuchen dabei, deren Aufwand-Nutzen-Relation unter Einbeziehung von gesamtenergetischen Betrachtungen und unter Aspekten der Umwelt (6 U, P) und Sozialverträglichkeit (6 K10, Ev10, Eth10, Sk10; 6 BO) abzuschätzen. Die folgenden Themen haben Vorschlagscharakter; es sind auch andere Themen zum Bereich "Ambivalenz der Technik" denkbar.

- elektrische Energie: Gewinnung, Übertragung; Primär- und Sekundärenergie (6 MT, U)
- Vergleich verschiedener Fortbewegungsmittel aus energetischer Sicht (6 V), z.B. spezifischer "Energieverbrauch" und spezifische Umweltbelastung
- Vergleich verschiedener Heizungssysteme unter Berücksichtigung von Wirkungsgrad und Umweltbelastung (6 U)
- Energienutzung im Haushalt und Möglichkeiten der Einsparung von Primärenergie (6 U)
- Planung, Bau und Erprobung einfacher Modelle zur Nutzung der Sonnen- bzw. Windenergie (6 MT, U)

5 Addita am Mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasium

Von den folgenden vier Addita sind am Mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasium zwei zu behandeln.

5.1 Physikalische Grundlagen der Kernenergietechnik

(ca. 14 Std.)

Die Schüler erhalten einen Einblick in den Aufbau der Atome (6 C10), wobei sie erfahren, daß gewisse Atomkerne instabil sind und ohne äußeren Anlaß zerfallen. Sie sollen wissen, wie man die dabei entstehenden Strahlungsarten nachweist und identifiziert und welche Auswirkungen diese auf Lebewesen haben. Den bei der Kernspaltung bzw. der Kernfusion frei werdenden enormen Energiemengen und den sich daraus ergebenden technischen Möglichkeiten werden die damit verbundenen Risiken und Probleme gegenübergestellt (6 FR, P, U); die Schüler sollen dadurch befähigt werden, bei der in der Öffentlichkeit geführten Energiediskussion eine eigene, sachgerecht begründete Stellung zu beziehen.

Größenordnung des Atomdurchmessers,
Masse und Aufbau der Atome;
Symbolschreibweise

Erweiterung der bisherigen Modellvorstellung:
Kernaufbau aus Protonen und Neutronen,
Isotopie

radioaktive Strahlung:
Verfahren zur Registrierung; Zusammensetzung;
Durchdringungsfähigkeit

Entladung eines Elektroskops durch radioaktive
Strahlung; Aufbau und Wirkungsweise eines
Zählrohrs

Zerfallsgesetz und Halbwertszeit

Zerfallsgesetz (6 M10) in der Form
$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-t/T}$$

Wirkung radioaktiver Strahlung auf lebende
Materie; Grundbegriffe der Dosimetrie; natür-
liche Strahlenbelastung

Strahlenschäden, Strahlenschutz (6 B; 6 GE);
Energie- und Äquivalentdosis

Energiebilanz bei Kernspaltung und Kernfusion

Äquivalenz von Masse und Energie, Massende-
fekt (keine Herleitungen); Veranschaulichung an
Beispielen aus der Energiewirtschaft

5.2 Einführung in die Halbleiterphysik

(ca. 14 Std.)

Einblicke in die Vielfalt der Möglichkeiten, das elektrische Verhalten von Halbleitern zu beeinflussen, sowie in die technischen Anwendungen von Halbleitern führen die Schüler in die moderne Welt der Elektronik ein und können zum selbständigen Experimentieren anregen (6 FZ).

Einfluß von Temperatur und Beleuchtung auf die Eigenleitung von Halbleitern	Erklärung durch Elektronen- bzw. Löcherleitung (6 C10)
Störstellenleitung bei dotierten Halbleitern; Effekte an der p-n-Grenzschicht von Halbleiterdioden	Gleichrichtung von Wechselstrom mit Einweg- bzw. Brückengleichrichtern als Anwendung
spezielle Dioden: Leuchtdiode, Photodiode (Photoelement), Zenerdiode	Aufnahme und Diskussion von Diodenkennlinien; typische Anwendungsbeispiele
Eigenschaften des Transistors	Anwendung als Stromverstärker; Ausblick auf Grundlagen und Bedeutung der Halbleiterfertigungstechnik (6 MT, BO)

Für Schülerübungen bieten sich die folgenden Themen an: Einfluß von Temperatur und Beleuchtung auf die Eigenleitung von Halbleitern, Kennlinien von Halbleiterdioden, Transistor als Stromverstärker

5.3 Steuern und Regeln mit Elementen der Mikroelektronik (ca. 14 Std.)

Die Schüler sollen erkennen, daß das dynamische Verhalten vieler technischer, biologischer und ökonomischer Systeme durch Regelvorgänge bestimmt wird. Sie sollen dieses Prinzip in einfachen Anwendungen realisieren können.

Steuern und Regeln als allgemeine, nicht auf die Elektronik beschränkte Begriffe	Schalten und Verstärken als Sonderfälle der Steuerung
Prinzip der Rückkopplung in technischen, biologischen, ökologischen und ökonomischen Systemen	einfache Beispiele zu Gegenkopplung und Mitkopplung (6 B10, WR; 6 U); Einsatz eines Computer-Simulationsprogramms oder einfache Experimente zur Steuerung und Regelung mit Physikinterface und Rechner
Eigenschaften des Operationsverstärkers; einfache technische Anwendungen	Verwendung des Operationsverstärkers als "Blackbox" (ohne Beschaltung: Komparator; mit Gegenkopplung: Beschränkung auf den invertierenden oder den nicht-invertierenden Verstärker); Messung kleinster Spannungen und Ströme, Simulation der Pupillenreaktion des Auges (6 B10); Ausblick auf Verwendung in Meßverstärkern (6 MT)

Nachrichtenübertragung mit Licht

Ausblick: moderne Technologien (6 ITG, ME)

5.4 Einführung in die Astronomie am Beispiel der Sonne

(ca. 14 Std.)

Die Schüler lernen am Beispiel der Sonne eine Energiequelle gewaltigen Ausmaßes kennen, deren abgestrahlte Energie auch technisch genutzt werden kann. Übergreifend sollen sie zwei zentrale Einsichten gewinnen: Der physikalische Zustand der Sonne bestimmt im wesentlichen die Entstehung und Erhaltung des Lebens auf der Erde; und: Unsere Sonne ist ein Stern unter vielen.

Größe der Sonne; Beobachtung von Vorgängen auf der Sonnenoberfläche

experimentelle Bestimmung des Sonnendurchmessers; Mitteilung der Entfernung Erde - Sonne;
Hinweis auf die Gefährdung bei ungeschützter Sonnenbeobachtung (6 FZ, GE)

Strahlungsleistung und Bestrahlungsstärke; Solarkonstante

experimentelle Abschätzung der Solarkonstante; Übung im Umgang mit Zehnerpotenzen (6 M)

Möglichkeiten der technischen Nutzung der solaren Energieeinstrahlung

Bestimmung des Wirkungsgrades von Sonnenkollektor bzw. Solarzelle

Entstehung der Sonnenenergie

Mitteilung der Prozesse; Ausblick auf Forschungsprojekte zur künstlichen Fusion

unsere Sonne, ein Stern der Milchstraße; Überblick über die Entwicklung von Sternen

historische Entwicklung (6 G); Ausblick auf Erkenntnisse der modernen Astrophysik und deren Bedeutung für das Verständnis der Sonne (6 W)

Jahrgangsstufe 11

(2, MNG 3)

Im Physikunterricht der Oberstufe werden die in der Mittelstufe vorwiegend phänomenologisch und qualitativ behandelten Stoffgebiete wieder aufgegriffen und unter verstärkter Einbeziehung der Mathematik auch quantitativ erfaßt. Dabei wird in der Jahrgangsstufe 11 vor allem der Themenbereich der Mechanik behandelt, der die Grundlage für die weiteren Gebiete der Physik in der Kursphase der Kollegstufe bildet.

Ein wichtiges Anliegen des Unterrichts in der Jahrgangsstufe 11 ist es, die Schüler mit grundlegenden Begriffen wie Kraft und Beschleunigung, Energie und Impuls vertraut zu machen. Eine zentrale Rolle spielen dabei die Lernziele zu den Newtonschen Gesetzen und zu den Erhaltungssätzen. Aus ihrer sequentiellen Formulierung soll nicht auf eine isolierte Behandlung geschlossen werden: So wie am Beispiel der Schwingungen vorgeschlagen, sollen die grundlegenden Gesetze an geeigneter Stelle wieder aufgegriffen und durch Anwendung vertieft werden. Der Vektorbegriff der Mittelstufe wird weiterentwickelt, die Vorteile seiner Verwendung werden an Beispielen aufgezeigt. In einer teilweise engen Verzahnung mit der Mathematik werden fundamentale Denkweisen, wie z.B. das Bilden von Grenzwerten (6 M), behutsam vorbereitet bzw. durch Anwendung gefestigt. Auch deswegen ist gerade am Anfang auf Anschaulichkeit besonderer Wert zu legen, um den Schülern den Übergang von der Mittelstufe nicht unnötig zu erschweren.

Bei der Anwendung der Gesetze der Mechanik kommt den Beispielen aus dem Straßenverkehr (6 V) ein besonderer erzieherischer Wert zu; sie sollen ein verantwortungsbewußtes Verhalten fördern, um der hohen Unfallbeteiligungsrate gerade in dieser Altersstufe entgegenzuwirken.

Das Fundamentum ist für alle Ausbildungsrichtungen verpflichtend; am **Mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasium** besteht zusätzlich Wahlpflicht für zwei Addita. Der Unterricht kann je nach gewähltem Themenbereich parallel zum Fundamentum oder als Block stattfinden. Die Auswahl sollte im Gespräch mit der Klasse getroffen werden. Die Addita können in Teilen auch in der Form von Unterrichtsprojekten behandelt werden.

Fundamentum

1 Einfache lineare Bewegungen

(ca. 10 Std.)

Vor dem Hintergrund der Erfahrungen aus der Mittelstufe und des täglichen Umfelds lernen die Schüler Möglichkeiten zur Registrierung und Darstellung von Bewegungen kennen. Sie erfahren, wie man diese in ein mathematisches Modell abstrahiert, und lernen, den Verlauf von Bewegungen aus Diagrammen abzulesen.

Registrierung von Bewegungsabläufen;
Zeit-Ort-Funktion;
Begriff der Geschwindigkeit

Wiederholung von Grundbegriffen; Erstellung und qualitative Diskussion von Diagrammen (6 M11: Vorbereitung des Grenzwertbegriffs)

geradlinige Bewegung mit konstanter Beschleunigung;
Begriff der Beschleunigung

quantitative Auswertung und Interpretation von Diagrammen (6 S11; 6 V: verantwortungsvolles Verhalten, z.B. Überholvorgänge)

2 Newtonsche Gesetze und Anwendungen

(ca. 13 Std.)

Die Kenntnis der drei Newtonschen Gesetze bildet die Grundlage für das Verständnis der Mechanik. Der Zusammenhang zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung soll für die Schüler dabei durch

Experimente unmittelbar erfahrbar werden. Durch verschiedenartige Anwendung der erarbeiteten Gesetzmäßigkeiten wird der Zusammenhang zwischen dem physikalischen Phänomen und dem zugehörigen mathematischen Modell gefestigt. Die Schüler werden somit auch in die Lage versetzt, Risiken im Straßenverkehr abzuschätzen (6 V, MT), um sich verantwortungsvoll verhalten zu können.

- | | |
|--|---|
| 1. Newtonsches Gesetz: Trägheitssatz | Wiederholung von Grundbegriffen; Trägheitssatz als Ergebnis einer Idealisierung |
| 2. Newtonsches Gesetz: $F = ma$
(Grundgesetz der Mechanik) | Abschätzen des Betrags von Kräften und Beschleunigungen in Verkehr (6 V), Technik (6 MT) und Sport (6 S12; 6 GE, FZ) |
| 3. Newtonsches Gesetz: "actio gegen gleich reactio" (Wechselwirkungssatz) | |
| Anwendung bei einfachen Kraftgesetzen:
$F = const.$, insbesondere freier Fall; Messung der Fallbeschleunigung;
$F - x$, harmonische Schwingung, Periodendauer des Federpendels | Festigung des erworbenen Wissens durch Anwendungsbeispiele (6 MT);
zusammenfassende Betrachtung: Zu jedem Typ des Kraftgesetzes gehört eine eigene Klasse von Zeit-Ort-Funktionen. |

Da in der Schule nur für wenige Kraftgesetze eine allgemeine Lösung entwickelt werden kann, bietet sich hier der Einsatz eines einfachen numerischen Verfahrens (6 BO) an. Auf diese Weise kann den Schülern besonders eindrucksvoll gezeigt werden, daß das Grundgesetz der Mechanik eine zentrale Rolle spielt, weil es zusammen mit den Definitionen von Geschwindigkeit und Beschleunigung die alleinige Grundlage für die Ermittlung von Bewegungsabläufen darstellt.

3 Erhaltungssätze

(ca. 10 Std.)

Die Schüler sollen mit zwei der grundlegenden Erhaltungssätze der Mechanik, dem Energie- und dem Impulserhaltungssatz, sowie mit deren Anwendungen vertraut werden. Wiederholung und Übung anhand von Aufgabenstellungen auch aus anderen Teilgebieten der Physik (6 MT) lassen die Schüler den Bilanzcharakter der Erhaltungssätze erkennen, mit deren Hilfe sich Probleme bewältigen lassen, die sonst nur mit erheblich höherem Aufwand oder gar nicht lösbar wären.

- | | |
|---|--|
| potentielle und kinetische Energie | Wiederholung (6 C: kinetische Gastheorie);
Interpretation der Fläche unter dem Ort-Kraft-Graphen als Arbeit (6 M12: erste Überlegungen zum Integralbegriff) |
| Energieerhaltungssatz der Mechanik | Festigung durch Aufgaben zu Energiebilanzen;
Untersuchung von Bremsvorgängen (6 V: Folgen unangepaßter Geschwindigkeit) |
| Impuls und Impulserhaltungssatz;
Grundgesetz der Mechanik in der Form
$F = dp/dt$ | Anwendung in Beispielen (6 MT) auch aus der Atom- und Kernphysik (Beschränkung auf zentrale Stöße) |

4 Einfache krummlinige Bewegungen

(ca. 7 Std.)

Die Beschreibung von Bewegungen wird auf zweidimensionale Bewegungen erweitert. Dabei soll den

Schülern bewußt werden, daß bei der Verwendung der vektoriellen Schreibweise die bisher behandelten Gesetze ihre ursprüngliche Form behalten.

waagrechtcr Wurf	Experimente führen zur Parameterdarstellung $x = v_x t$, $y = - g t^2$
Kreisbewegung mit konstanter Winkelgeschwindigkeit	Veranschaulichung des Zusammenhangs zwischen Kreisbewegung und harmonischer Schwingung im Experiment
Zentripetalkraft	Erarbeitung anhand von Experimenten (6 S11; 6 MT, V: Kurvenfahrt)

Die Vorstellungen der Schüler von Bezugssystemen sollen aufgegriffen, Bezugssysteme selbst jedoch nicht thematisiert werden.

5 Gravitation

(ca. 8 Std.)

Ausgehend von der historischen Entwicklung des Gravitationsgesetzes (6 G) sollen sich die Schüler mit den unterschiedlichen Auffassungen über das Weltall auseinandersetzen. Erkenntnisse aus der Raumfahrt helfen den Schülern, Vorstellungen von ihrem eigenen Eingebundensein in die reale physikalische Umwelt zu entwickeln.

Gravitationsgesetz von Newton	Berechnung von kreisförmigen Satellitenbahnen; Erläuterung der "Schwereelosigkeit" bei der Raumfahrt (6 B; 6 MT)
Keplersche Gesetze; Ausblick auf das moderne physikalische Weltbild	Anwendungen der Keplerschen Gesetze; Auseinandersetzung mit dem geo- und dem heliozentrischen Weltbild vor dem geistesgeschichtlichen Hintergrund (6 G; 6 W, DS)

Die Vielfalt der möglichen Bewegungsformen unter dem Einfluß von Gravitationskräften kann mit Hilfe von Rechnersimulationen aufgezeigt werden.

6 Wellenphänomene

(ca. 8 Std.)

Die Schüler lernen den grundlegenden physikalischen Begriff der Welle und als typisches Wellenphänomen die Interferenz kennen. Sie erfahren, wie man die Entstehung und Überlagerung von Wellen mit Hilfe von Schwingungen erklären kann. In der klaren Unterscheidung zwischen zeitabhängiger und ortsabhängiger Darstellung der Elongation gewinnen die Schüler ein besseres Verständnis für das Phänomen Welle.

Grundbegriffe der Wellenlehre	Veranschaulichung an Modellen
sinusförmige Transversalwellen	Herleitung der Beziehung $c = \lambda f$

Interferenz bei zwei Wellenzentren;
stehende Welle

Entwicklung der Bedingungen für Maxima und
Minima (6 C12/13, Mu: Grund- und Ober-
schwingung)

7 Addita am Mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasium

Von den folgenden fünf Addita sind am Mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasium zwei zu behandeln.

7.1 Experimente zu ausgewählten Kapiteln aus der Mechanik (ca. 14 Std.)

Dieses Additum soll die Schülerversuche der Mittelstufe fortsetzen und bei den Schülern die Freude am experimentellen Arbeiten fördern. Die Schüler gewinnen einen vertieften Einblick in die Planung und den Aufbau von Experimenten und erlangen eine gewisse Fertigkeit in der Durchführung und Auswertung von Versuchen. Mit der Einsicht, daß bei jedem Experiment Fehlerquellen auftreten und berücksichtigt werden müssen, soll bei den Schülern auch die Bereitschaft wachsen, die Ergebnisse kritisch zu überdenken (6 W). Die folgenden Themen haben Vorschlagscharakter:

- Registrierung und Darstellung von Bewegungsabläufen
- Beobachtung und Deutung von Schwingungsphänomenen, z.B. Überlagerung von Schwingungen, gekoppelte Pendel, Resonanz
- Vergleich verschiedener Methoden zur g-Bestimmung
- Simulation von Vorgängen mit dem Computer und ggf. Vergleich mit der Realität

Wo aus organisatorischen oder ausstattungsmäßigen Gründen Schülerversuche nicht möglich sind, sollen Demonstrationsexperimente unter Beteiligung von Schülern ausgeführt werden.

7.2 Physik der Atmosphäre (ca. 14 Std.)

Ausgehend von eigenen Wetterbeobachtungen ("Wettertagebuch") lernen die Schüler wesentliche Vorgänge in der Atmosphäre verstehen und können so häufig auftretende Wettergeschehnisse erklären (6 Ek; 6 FZ). Darüber hinaus sollen sie am Beispiel von Wetterprognosen erkennen, daß die Physik trotz modernster Beobachtungs- und Forschungsmethoden nur Modelle bereitstellen kann, deren Gültigkeitsgrenzen durch die realen Vorgänge deutlich werden (6 W: deterministisches Chaos). Folgendes Vorgehen bietet sich an:

- meteorologische Parameter; Messung und Darstellung in Wetterkarten
- Luft als Gasgemisch; Vertikalbau der Atmosphäre (6 C)
- Strahlungsbilanz des Systems Erde-Atmosphäre; energetische Bedeutung des Wasserkreislaufs Erde-Atmosphäre-Erde
- Zweikammermodell; Entstehung von Luftbewegungen: Druckgradientenkraft, Corioliskraft und Bodenreibung
- Wolkenbildung und Niederschläge
- Beeinflussbarkeit des Klimas durch natürliche Ursachen und menschliche Eingriffe (6 Ek11: z.B. Stadtklima; 6 MT, U)

7.3 Strömungslehre (ca. 14 Std.)

Dieses Additum führt die Hydrostatik der Mittelstufe konsequent fort und erweitert sie zur Hydro- bzw. Aerodynamik (6 MT); auch hier soll den Schülern die Bedeutung der Newtonschen Gesetze für die Physik deutlich werden. Bei der Besprechung der folgenden Inhalte soll in erster Linie das Experiment zum Ausgangspunkt genommen werden:

- verschiedene Strömungsarten und ihre Darstellung
- Kontinuitätsbedingung; Bernoullisches Gesetz: Begriff des statischen und des dynamischen Drucks
- "Strömungswiderstand": $F = c_w \rho A v^2$ und Diskussion des Widerstandsbeiwerts c_w ; Überlegungen zum Energieverbrauch von Fahrzeugen (6 WR; 6 V)
- Luftwiderstand und dynamischer Auftrieb; Anwendungen der behandelten Gesetze auf das Fliegen (6 FZ)

7.4 Akustik

(ca. 14 Std.)

Die Schüler lernen Schall als eine Ausbreitung von Druckänderungen kennen, die durch einen schwingungsfähigen Körper erzeugt bzw. empfangen werden können. Der Unterricht soll den Schülern auch die Leistungen des menschlichen Gehörsinns aus der Sicht der Physik zeigen (6 MB). Die folgenden Inhalte lassen sich am besten als Einheit nach dem Themenbereich Wellenlehre des Fundamentums behandeln:

- Schallquellen, Schallgeschwindigkeit; Reflexion von Schall
- Eigenschwingungen, stehende Wellen, Resonanz; Schwebung, Klanganalyse
- harmonische Intervalle, Tonleitern, Kombinationstöne (6 MuGk12)
- Schallintensität und Lautstärke; physikalische Meßgrößen und subjektive Wahrnehmung (6 GE); Hörbereich
- akustischer Dopplereffekt mit bewegtem Sender bzw. bewegtem Empfänger, Hinweis auf den Dopplereffekt bei Licht (6 W: kosmologische Rotverschiebung)

7.5 Drehbewegung des starren Körpers

(ca. 14 Std.)

Anhand von Analogien zur Translationsbewegung sollen die Schüler die Grundlagen der Drehbewegung starrer Körper bei fester Drehachse kennenlernen. Die Gegenüberstellung von Größen der Translation und der Rotation ermöglicht den Schülern ein vertieftes Verständnis der Mechanik. Naturerscheinungen (6 Ek11: z.B. Klimatologie) und eine Fülle von Anwendungsbezügen in der Technik (6 MT) erleichtern es den Schülern, die Bedeutung der Physik für Umwelt und Technik klar zu erkennen. Die folgenden Inhalte können als Einheit nach dem Fundamentum oder einzeln nach dem jeweils entsprechenden Inhalt für die lineare Bewegung behandelt werden:

- experimentelle Hinführung zur Definition von Drehwinkel, Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung
- Drehmoment, Trägheitsmoment; Grundgesetz der Drehbewegung (6 Ek11: Geologie)
- Rotationsenergie; Energieerhaltung bei einfachen Drehbewegungen; Drehschwingungen
- Drehimpuls und Drehimpulserhaltung (6 S11); Drehmoment als zeitliche Änderung des Drehimpulses

An Beispielen sollen die Erhaltungssätze der Mechanik zusammenfassend wiederholt werden.

Grundkurs Physik

(3)

Die Physik im Grundkurs der Jahrgangsstufen 12 und 13 bringt zum einen ein Abrunden und Vertiefen von Themen, die in der Mittelstufe nur qualitativ behandelt werden konnten; zum anderen können hier wegen der fortgeschrittenen Fähigkeiten der Schüler auch fachlich anspruchsvolle Themen behandelt werden. Physikalische Erkenntnisse des 20. Jahrhunderts (6 W) werden aufgegriffen, wodurch die Grundlage für eine breite und moderne naturwissenschaftliche Allgemeinbildung geschaffen wird.

Analogiebetrachtungen und Modellvorstellungen spielen eine bedeutende Rolle; sie dienen den Schülern zur besseren Einordnung und Verankerung ihres Wissens oder zur vereinfachenden Darstellung neuer Sachverhalte. Die Schüler lernen aber auch, historisch nachzuvollziehen, wie Analogiebetrachtungen zu neuen Erkenntnissen in der Physik geführt haben. Darüber hinaus fordern und fördern Analogiebetrachtungen und die Diskussion von Modellvorstellungen in besonderem Maße die sprachliche Ausdrucksfähigkeit der Schüler (6 DS). Versuche führen zur Weiterentwicklung von Modellvorstellungen (6 W) und lassen die Schüler die historische Entwicklung (6 G) miterleben. Die Schüler erkennen, wie nützlich Modelle für das Verständnis schwieriger Sachverhalte sind.

Wo immer sich die Gelegenheit bietet, sollen die Schüler bei der Durchführung von Experimenten beteiligt werden.

Jahrgangsstufe 12

1 Statische elektrische und magnetische Felder

(ca. 28 Std.)

Durch Experimente lernen die Schüler elektrische und magnetische Felder als Kraftfelder kennen, deren Strukturen durch Feldlinien anschaulich beschrieben werden können. Ausgehend von der Kraftwirkung auf Probekörper verstehen sie die Einführung von Größen, die die Stärke der Felder kennzeichnen. Dadurch sollen die Schüler befähigt werden, die Bewegung geladener Teilchen in homogenen Feldern mathematisch (6 M) zu beschreiben. Beim Nachvollziehen des historischen Versuchs von Millikan (6 G) wird ihnen bewußt, daß Ladungen nur als ganzzahlige Vielfache einer Elementarladung auftreten können. Die erreichbare Geschwindigkeit geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern wird unter Hinweis auf die Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie diskutiert.

Grundbegriffe aus der Elektrizitätslehre:
Stromstärke, Spannung, Ladung, Widerstand,
elektrische Energie und elektrische Leistung

Wiederholung und Vertiefung der Begriffe;
Hinweis auf die Ladungsmessung

elektrisches Feld: Kräfte zwischen geladenen
Körpern, Coulomb-Gesetz; radialsymmetrisches
und homogenes elektrisches Feld, Feldlinien

Wiederholung des Feldbegriffs; Mitteilung des
Coulomb-Gesetzes, Vergleich mit dem
Gravitationsgesetz; Aufnahme von Feldlinien,
Erfassung der Felder nur qualitativ

elektrische Feldstärke	Versuch zu $F/Q = const.$, Definition der elektrischen Feldstärke ; Analogiebetrachtung zu $g = F_g/m$ als Gravitationsfeldstärke
Ladungen als Quellen und Senken des elektrischen Feldes; Energie eines geladenen Teilchens im homogenen elektrischen Feld	Analogiebetrachtung: Lageenergie eines Körpers im homogenen Gravitationsfeld (vgl. Ph11)
Kapazität eines Kondensators; Zusammenhang von elektrischer Feldstärke und Spannung eines Plattenkondensators	Versuch zu $C = Q/U$ und $C = \epsilon_0 A/d$
Quantelung der Ladung, Elementarladung, Ladung als Erhaltungsgröße	Millikan-Versuch; Beschränkung auf den Schwebefall, Diskussion der dabei auftretenden Probleme
Bewegung geladener Teilchen in homogenen elektrischen Feldern	Analogiebetrachtung zu Wurfbewegungen (vgl. Ph11); Beschränkung auf click here to view equation. 1 und click here to view equation. 2
magnetisches Feld: Feldlinien, magnetische Flußdichte; Lorentzkraft, Hall-Effekt	Versuch zu $F/(Il) = const.$, Definition der Flußdichte ; Zurückführen von F auf die Lorentzkraft; Erörterung des allgemeinen Zusammenhangs zwischen Strom-, Feld-, und Krafrichtung (keine Behandlung des Vektorprodukts); Hinweis auf technische Anwendungen (6 MT: Hall-Sonden)
magnetische Flußdichte im Innern einer langgestreckten Spule; Quellenfreiheit des Magnetfeldes	Versuch zu $B = \mu_0 IN/l$; Amperedefinition; Vergleich von elektrischem und magnetischem Feld (6 DS)
Bewegung geladener Teilchen in homogenen Magnetfeldern; spezifische Ladung des Elektrons; Prinzip des Zyklotrons	Demonstration und Begründung der Entstehung einer Kreisbewegung; Auswertung des Fadenstrahlrohr-Experiments; Ausblick auf die technische Anwendung beim Massenspektrographen (6 C)
relativistische Massenänderung; Gesamtenergie und kinetische Energie relativistischer Teilchen	Hinweis auf die Lichtgeschwindigkeit als Grenzggeschwindigkeit und Besprechung des Experiments von Bucherer; Mitteilung und Diskussion der Gleichungen: Install Equation Editor and double - click here to view equation. 3, $E = mc^2$ und $E_{kin} = (m - m_0)c^2$; Hinweis auf das Synchrotron sowie die Bedeutung von Kollisionsexperimenten (vgl. Ph13)

Bei der Behandlung des Induktionsgesetzes sollen die Schüler beispielhaft erkennen, wie das Zusammenwirken von Experiment und Theorie zu neuen Erkenntnissen führt (6 W). Das Induktionsgesetz wird aus Induktionsversuchen mit zeitlich konstanten Magnetfeldern und aus weiteren, den Schülern bereits bekannten Gesetzmäßigkeiten in einer vorläufigen Form gewonnen (6 DS). Aus der Analyse des Gesetzes ergibt sich die Vermutung, daß Induktionsspannungen auch bei veränderlichem Magnetfeld zu erwarten sind. Die Bestätigung durch Experimente gibt Anlaß zu einer allgemeineren Formulierung des Induktionsgesetzes. Die Schüler erleben das Phänomen der Selbstinduktion anhand von Ein- und Ausschaltvorgängen. Sie gewinnen die Einsicht, daß Kondensator und Spule mit ihren Feldern Energiespeicher darstellen, und werden befähigt, diese Energien quantitativ zu beschreiben.

Induktionsphänomene, Induktionsgesetz; magnetischer Fluß	Der übergeordnete Gesichtspunkt der zeitlichen Flußänderung erlaubt eine einfache mathematische Formulierung (6 M12). Experimente, z.B. mit dem Dreiecksgenerator; technische Anwendungen (6 MT)
Erzeugung sinusförmiger Wechselspannungen; Effektivwerte	Herleitung von $U = U_o \sin \omega t$ aus dem Induktionsgesetz; Bestätigung am Oszilloskop
Selbstinduktion; Induktivität	Demonstration und Deutung der Selbstinduktion bei Ein- und Ausschaltvorgängen; quantitative Erfassung mit Hilfe des Induktionsgesetzes; Besprechung technischer Anwendungen (6 MT, V: z.B. Zündspule)
elektrische Energie des Kondensatorfeldes; magnetische Energie des Spulenfeldes	elektrische Energie als Arbeit, die aufzubringen ist, um den Kondensator aufzuladen; magnetische Energie des Spulenfeldes erarbeitet durch Analogieschluß

Bei der Erarbeitung des Induktionsgesetzes sowie bei der Herleitung der Effektivwerte von Spannung und Stromstärke kann ein rechnerunterstütztes Meßwerterfassungssystem wertvolle Hilfestellungen geben.

3 Schwingungen und Wellen (ca. 30 Std.)

3.1 Elektromagnetische Schwingungen (ca. 12 Std.)

Die Schüler erkennen im Experiment die Schwingung im elektromagnetischen Schwingkreis und die Analogie zum mechanischen Oszillator. Als Hilfsmittel zur Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen lernen die Schüler das Rückkopplungsprinzip kennen, das sich auch auf nicht-elektrische Systeme übertragen läßt. Sie beobachten das Phänomen der Resonanz bei erzwungenen Schwingungen und sollen die Vorgänge qualitativ beschreiben können (6 DS).

elektromagnetischer Schwingkreis; Thomson-Gleichung	Entladung eines Kondensators über eine Spule; vergleichende Betrachtungen am mechanischen Pendel; Mitteilung der Thomson-Gleichung und Bestätigung im Experiment (6 MT, V: Verwendung von Induktionsschleifen zur Verkehrszählung und -leitung)
Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen	Ausblick auf die Bedeutung der Rückkopplung auch bei nicht-elektrischen Regelkreisen (6 B: z.B. Körpertemperatur, Pupillenreaktion; 6 WR: z.B. Käuferverhalten)
erzwungene Schwingungen; Resonanz	Aufnahme einer Resonanzkurve; Diskussion des Amplituden- und Phasenverhaltens (qualitativ); Betrachtung von mechanischer (6 Mu) und elek- trischer Schwingung im Vergleich

3.2 Elektromagnetische Wellen

(ca. 18 Std.)

Der Übergang vom geschlossenen zum offenen Schwingkreis macht den Schülern deutlich, daß von einem schwingenden Dipol elektromagnetische Wellen abgestrahlt werden; damit wächst ihr Verständnis für die Grundlagen der Rundfunktechnik (6 MT). Versuche mit Mikrowellen, mechanischen Wellen und Licht führen zur Erkenntnis, daß ihre Ausbreitung jeweils durch das Wellenmodell beschreibbar ist. Die Schüler lernen, daß auch das Licht eine elektromagnetische Welle ist.

elektrische Dipolschwingungen	experimenteller Nachweis der Stromstärke- und Ladungsverteilung im induktiv angeregten Stabdipol, Betrachtung der Momentbilder im zeitlichen Abstand $T/4$; Grundschiwingung des $\lambda/2$ -Dipols als stehende Welle; Oberschwingungen
Dipolstrahlung; Wellencharakter der Dipol- strahlung, Ausbreitungsgeschwindigkeit c	experimentelle Untersuchung der Wellenausbrei- tung, Nachweis von stehenden Wellen vor einer reflektierenden Wand; vergleichende Betrachtungen an stehenden Seil- oder Schallwellen
Sendung, Übertragung und Empfang elektromag- netischer Wellen	Betrachtung modulierter Schwingungen am Oszilloskop; Beschränkung auf Grundlagen (6 BO, ME, MT: Auswirkungen moderner Technologien)

Beugung und Zweistrahlinterferenz mit Mikrowellen und Licht; Interferenz am optischen Gitter

Veranschaulichung der Vorgänge durch Versuche mit der Wellenwanne

Messung der Lichtwellenlänge, optische Spektroskopie; elektromagnetisches Spektrum

Demonstration der Existenz von elektromagnetischer Strahlung außerhalb des sichtbaren Bereichs (6 B: Empfindlichkeitsbereich des Auges); Demonstration und Vergleich charakteristischer Spektren (6 C)

Die Versuche mit Mikrowellen, mechanischen Wellen (u.a. Wellenwanne) und Licht sollen möglichst so durchgeführt werden, daß die Schüler die Gleichartigkeit der Phänomene erkennen.

4 Lichtquanten

(ca. 12 Std.)

Die Schüler erkennen, daß der Photoeffekt mit dem Wellenmodell nicht erklärt werden kann; erst die Annahme einer Quantenstruktur des Lichts erlaubt seine Deutung. Am Beispiel des Photoeffekts erleben die Schüler die Tragweite und die Grenzen von Modellvorstellungen (6 W).

lichtelektrischer Effekt

Durchführung von Versuchen; Hinweis auf die Widersprüche zur Wellentheorie des Lichts

Zusammenhang zwischen Lichtfrequenz und kinetischer Energie der Photoelektronen; Austrittsarbeit, Grenzfrequenz; Plancksches Wirkungsquantum h

quantitative Auswertung des zugehörigen Experiments (z.B. Gegenfeldmethode); Interpretation des Ergebnisses (Einstein-Gleichung); h als Naturkonstante

Photon

Einführung des Photons als "Teilchen" mit Ruhemasse null, Energie hf und Impuls h/λ ; Auseinandersetzung mit dem Wellen- und dem Teilchenmodell (6 G: Kopenhagener Deutung, Komplementarität; 6 W)

Jahrgangsstufe 13

In Jahrgangsstufe 13 gibt es im Grundkurs drei Lehrplanalternativen:

- Grundkurs Physik
- Grundkurs Physik (Astronomie)
- Grundkurs Physik (Informatik)

Grundkurs Physik (3)

1 Elementare Quantenphysik (ca. 12 Std.)

Beim Versuch mit der Elektronenbeugungsröhre erleben die Schüler das erstaunliche Phänomen der Teilchenstrahlinterferenz. Die Deutung dieses Phänomens führt sie zu der Einsicht, daß das Verhalten von Mikroobjekten zwei Aspekte, den Wellen- und den Teilchenaspekt, aufweist, die nach unseren, vom Makrokosmos geprägten Vorstellungen unvereinbar erscheinen; erst die statistische Deutung nach Max Born löst die scheinbaren Widersprüche (6 G). In der Unschärferelation von Heisenberg lernen die Schüler eine Beziehung kennen, die das grundsätzlich andere Verhalten von Mikroteilchen zum Ausdruck bringt und deren Interpretation auch Grenzen des menschlichen Vorstellungsvermögens aufzeigt (6 W).

Teilchenstrahlinterferenz: de-Broglie-Wellenlänge	Elektronenbeugung;	qualitativer Versuch mit der Elektronenbeugungsröhre; vergleichende Betrachtung von Interferenzbildern mit Licht und Teilchenstrahlen; Analogieschluß auf die Welleneigenschaft bewegter Teilchen
--	--------------------	---

Wellen- und Teilchenaspekt von Licht und Materie; Grenzen der Anwendbarkeit klassischer Vorstellungen; statistische Deutung nach Born	Besprechung eines Gedankenexperiments zur Interferenz bei sehr geringer Beleuchtungsstärke; Mitteilung des Zusammenhangs zwischen der Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Teilchens und der zugehörigen de-Broglie- bzw. elektromagnetischen Welle; Diskussion des scheinbar unterschiedlichen Verhaltens von Makro- und Mikroobjekten (6 DS; 6 W)
---	---

Heisenbergsche Unschärferelation	Erläuterung an einfachen Beispielen
----------------------------------	-------------------------------------

2 Struktur des Atoms; Atomhülle (ca. 20 Std.)

Herstellung und Ausmessung dünnster Ölschichten vermitteln den Schülern eine erste Vorstellung von der Größenordnung atomarer Abmessungen. Mit dem Rutherford'schen Streuversuch lernen die Schüler eine neue Methode kennen, mit der die Struktur von Atomen erforscht werden kann. Die Deutung von Elektronenstoß- und Absorptionsexperimenten führt sie zur Einsicht, daß Atome nur diskrete Energien aufnehmen. Durch die Bohrschen Überlegungen zum Wasserstoffatom erkennen die

Schüler, wie das Denken in Modellen und die Intuition der Forscher zu neuen Erkenntnissen führen (6 W). Sie erfahren, wie die Unzulänglichkeiten des Bohrschen Modells erst durch das quantenmechanische Modell behoben werden. Ergebnisse der Röntgenspektroskopie eröffnen ihnen einen Einblick in den Aufbau der Atome höherer Ordnungszahl.

Struktur des Atoms, Atomdurchmesser; Entdeckung des Atomkerns durch Rutherford	Abschätzung der Atomgröße durch den Ölfleckversuch; Schilderung des Rutherford-Versuchs; Veranschaulichung der Streuung im Modellversuch; Veranschaulichung der Größenordnungen von Atomkern und Atom (6 C)
--	---

Franck-Hertz-Versuch	Aufnahme und Deutung des $U-I$ -Diagramms; Gegenüberstellung von Atom und klassischem Oszillator bezüglich der Energieaufnahme
----------------------	--

Linienpektrum des H-Atoms; Energieniveauschemata	Mitteilung und Diskussion der Formeln für die Balmer- und Lyman-Serie; Entwicklung des Energieniveauschemas für das H-Atom aus der allgemeinen Serienformel
--	---

Resonanzfluoreszenz	Demonstration der Resonanzfluoreszenz bei Natrium; Vergleich zwischen Emissions- und Absorptionsspektrum (6 C); Deutung der Fraunhoferschen Linien
---------------------	--

Atommodell von Bohr als historischer Zwischenschritt	Aufzeigen der Unzulänglichkeiten des Atommodells von Rutherford; Erörterung der Postulate von Bohr; Diskussion der Folgerungen aus dem Modell
--	---

Elemente des quantenmechanischen Modells des Wasserstoff-Atoms (Orbitalmodell)	Besprechung und Veranschaulichung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons (6 C: Orbitale)
--	---

Energieniveaus für das Elektron im eindimensionalen Potentialtopf	Erklären des Auftretens diskreter Energiewerte am Modell des eindimensionalen Potentialtopfs; Berechnung von Wellenlängen
---	---

Schalenaufbau der Atomhülle und Periodensystem der Elemente, Röntgenspektren	Mitteilung der Schalenstruktur der Atomhülle (6 C); Erklärung der charakteristischen Röntgenstrahlung; Hinweis auf die Bremsstrahlung
--	---

Der Grundgedanke des Franck-Hertz-Versuchs (inelastische Streuung) und der Absorptionsexperimente sollte besonders betont werden: Man bietet einem System, hier dem Atom, verschiedene Energien an und beobachtet, welche Energien aufgenommen werden. Auf eine Herleitung der Energieformel aus den Bohrschen Postulaten soll verzichtet werden.

3 Aufbau und Eigenschaften von Atomkernen

(ca. 25 Std.)

Die Schüler erfahren, aus welchen Bausteinen Atomkerne bestehen und werden befähigt, mit der Einsteinschen Äquivalenzbeziehung Bindungsenergien zu berechnen. Aus Experimenten mit natürlicher radioaktiver Strahlung lernen die Schüler deren Eigenschaften kennen und die Notwendigkeit von

Strahlenschutzmaßnahmen einsehen. Die Schüler erkennen am Beispiel des radioaktiven Zerfalls besonders deutlich, wie man in der Physik sowohl mit der induktiven als auch mit der deduktiven Methode neue Erkenntnisse gewinnt (6 W). Sie erhalten einen Einblick in die Vielfalt von Kernreaktionen (6 CLk12).

Größe von Atomkernen; Protonen und Neutronen als Kernbausteine	Mitteilung der Kerngröße und der Kernbausteine; Hinweis auf Beugungsversuche mit Teilchenstrahlen (Modellversuch: Beugung von Laserstrahlen an Bärlappsporen)
Ermittlung von Kernmassen; Isotopie, Nuklidkarte	Das Anwenden der Kenntnisse über das Verhalten geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern macht die Verfahren zur Isotopentrennung und zur Bestimmung der Kernmassen in Massenspektrographen verständlich (6 MT).
Massendefekt; Bindungsenergie	Berechnungen zum Massendefekt und zur Bindungsenergie mit Hilfe von $E = mc^2$; Erläuterung des Diagramms der mittleren Bindungsenergie je Nukleon in Abhängigkeit von der Nukleonenzahl
stabile und instabile Kerne; α -, β -, γ -Strahlung; Nachweis hochenergetischer Strahlung mit Ionisationskammer, Zählrohr und Nebelkammer	Trennung der einzelnen Strahlenarten durch Absorptionsversuche und das Verhalten im Magnetfeld; Versuche und einfache qualitative Erklärungen
Verschiebungssätze, Zerfallsreihen; Übergang zwischen Energieniveaus bei α -Emission	Veranschaulichung an der Nuklidkarte; Beispiele zu Niveau-Übergängen; einfache Deutung der Vorgänge im Kern bei der Strahlenemission und -absorption
quadratisches Abstandsgesetz; Absorption	Versuche zur mittleren Reichweite von α -Strahlung und zur Absorption von β - und γ -Strahlung
biologische Strahlenwirkung; Strahlenbelastung des Menschen, Energie- und Äquivalentdosis; Strahlenschutzmaßnahmen	Darlegung von Strahlenwirkung und Strahlenschäden; Diskussion des Zusammenhangs von Äquivalentdosis und Gesundheitsschäden (6 B); Überlegungen zur Minimierung des Strahlenrisikos führen zu den Verhaltensregeln nach der Strahlenschutzverordnung (6 GE, U, P, FR)
Zerfallsgesetz, Halbwertszeit, Aktivität; Gegenüberstellen von induktivem und deduktivem Vorgehen	induktive Erarbeitung des Zerfallsgesetzes aus dem Experiment; deduktive Erschließung der exponentiellen Abnahme (6 M12); Besprechung von Anwendungen in Medizin und Technik (6 GE, MT) sowie bei der Altersbestimmung (6 B13, G; 6 W)

einfache Kernreaktionen;
freies Neutron;
 α^+ -Zerfall

Beispiele zu Kernumwandlungen; Ergänzung von Reaktionsgleichungen durch Anwendung von Erhaltungssätzen; Diskussion der Energiebilanz; Besprechung der Erzeugung, der Eigenschaften und der Abschirmung von Neutronen; Vergleich des α^- - und α^+ - Zerfalls; Veranschaulichung der Zerfälle an der Nuklidkarte

4 Ausblick auf Kerntechnik und Elementarteilchenphysik

(ca. 9 Std.)

Die Schüler erhalten einen Einblick in die Kernenergietechnik (6 CLk12). Auf der Grundlage der bisher erworbenen Kenntnisse über die Atomkerne soll in ihnen die Bereitschaft geweckt werden, sich bei Fragen zur Kernenergie ein eigenes, fachlich fundiertes Urteil zu bilden und es verantwortungsbewußt zu vertreten. Die Beschäftigung mit Fragestellungen, die mit modernen Großforschungsanlagen angegangen werden, soll den Schülern die Bedeutung und die Notwendigkeit einer zweckfreien Grundlagenforschung für die Gewinnung neuer Erkenntnisse bewußtmachen.

Grundlagen der Kernenergietechnik:
Kernspaltung, Kernenergie;
Entsorgung, Wiederaufbereitung;
Kernfusion

Besprechen der wichtigsten Tatsachen zur Funktion, zum Aufbau und zum Betrieb von Kernreaktoren (6 U, P, FR);
Veranschaulichung des aktuellen Standes der Fusionsforschung an Diagrammen (6 EU);
Erläuterung der Energieumwandlung in Sternen (6 W)

Suche nach elementaren Bausteinen der Materie

Erläuterung der Gründe für die Suche der Physiker nach neuen Substrukturen (6 K12, Ev11, Eth12: Neugier und Verantwortung des Wissenschaftlers; 6 W);
Besprechung des Aufbaus von Protonen und Neutronen aus Quarks und des experimentellen Nachweises von Quarks in Protonen;
Hinweis auf die Suche nach einer vereinheitlichenden Beschreibung der Naturkräfte (6 W)

Grundkurs Physik (Astronomie)

(3)

Die moderne Astronomie stellt sich die Aufgabe, die im Kosmos beobachteten Vorgänge mit den physikalischen Gesetzen zu erklären, die im irdischen Laboratorium gefunden wurden. Die Schüler sollen erleben, wie dieser Ansatz zu einem wissenschaftlich begründeten Bild des Universums führt, obwohl direkte Experimente mit den Objekten der Astronomie kaum möglich sind. Analogiebetrachtungen und Modellbildungen spielen dabei eine bedeutende Rolle, vor allem das Schließen von der zufälligen Stichprobe auf die Gesamtheit. Ein besonderer Reiz der Astronomie liegt darin, daß sie wie kein anderes Teilgebiet physikalischer Forschung als Bindeglied zwischen Antike und Moderne steht. Sie ist die älteste Naturwissenschaft und zugleich heute eine der lebendigsten, wenn man sie an den Aktivitäten und Ergebnissen der Forschung des 20. Jahrhunderts mißt; außerdem ist sie mit vielen anderen Teilgebieten der Physik eng verflochten. Bei der Auswertung astronomischer Daten werden die Schüler mit Größenordnungen und Zuständen der Materie konfrontiert, die zunächst jede Vorstellungskraft übersteigen. Dieser Einblick in die kosmische Wirklichkeit und die Kenntnis der Bedingungen für die Entwicklung von Leben im Kosmos sollen ihnen helfen, die Situation des Menschen in seinem Lebensraum Erde realistisch und verantwortungsbewußt (6 U) zu beurteilen und den zeitgenössischen Formen des Aberglaubens kritisch zu begegnen (6 W).

Die eigene Beobachtung am Fernrohr und die Betrachtung von Bildern sollen den Schülern die Schönheit und Erhabenheit des Kosmos unmittelbar vor Augen führen. Für astronomische Beobachtungen sind deshalb ca. 6 Stunden von den angegebenen Richtstundenzahlen vorgesehen, die auf etwa drei Beobachtungsabende verteilt werden sollen. Dabei kommt es zu zeitlichen Verschiebungen z.B. zwischen der Beobachtung der Fixsterne und deren Behandlung im Unterricht. Die Verwendung eines Kleinplanetariums mit Projektionsmöglichkeit oder der Besuch eines großen Planetariums im Laufe der Einführungsphase wird empfohlen.

1 Einführung in das astronomische Weltbild (6 W)

(ca. 10 Std.)

Anhand von Bildern werden die Schüler in die Welt der Astronomie eingeführt. Sie erfahren dabei etwas über die bizarren Objekte astronomischer Forschung und deren gewaltige Abmessungen. Schon in diesem frühen Stadium erleben die Schüler aber auch, daß sich durch gezieltes Beobachten und Hinterfragen eine Systematik erschließt, die zum Verständnis der scheinbaren Himmelsbewegungen und der Jahreszeiten auf der Erde führt. Bei der Gewinnung dieser Erkenntnisse lernen die Schüler auch die historischen Leistungen (6 G) bei der Entwicklung des astronomischen Weltbilds würdigen. Im Rahmen der Beobachtungsabende sollen die Schüler auch Optik und parallaktische Montierung des verwendeten Teleskops kennenlernen. Sie sollen die Freude am eigenen Beobachten erleben und zu selbständigem Tun angeregt werden (6 FZ, MB).

Verteilung der Materie im Kosmos

Betrachtung von Dias mit typischen astronomischen Objekten; Veranschaulichung der Größenordnungen für Raumverteilung, Massen und Zeiten

scheinbare Bewegungen der Gestirne: Nachweis der Erdrotation, Auf- und Untergang der Gestirne, Bewegung der Sonne relativ zum Fixsternhintergrund, Ekliptik

Erörterung der Erdrotation als Ursache für die tägliche Bewegung sowie der Bewegung der Sonne relativ zum Fixsternhintergrund; Diskussion des wechselnden Anblicks des Nachthimmels ("Sommer- und Wintersternbilder"); Unterstützung der Anschauung durch Modelle; Erklärung der Entstehung der Jahreszeiten (6 Ek); Mitteilung der Präzession der Erdachse und ihrer Wirkung

Arbeiten mit der drehbaren Sternkarte

Bestimmung von Sternbildern, Auf- und Untergangszeiten, "Kulminationen"

Im Zusammenhang mit der Planung von Beobachtungsabenden kann auch auf astronomische Koordinatensysteme (Horizont- und Äquatorsystem) näher eingegangen werden. Von Berechnungsaufgaben mit Hilfe der sphärischen Trigonometrie soll jedoch abgesehen werden.

2 Das Planetensystem

(ca. 14 Std.)

Durch Wiederholung bzw. Herleitung einiger für die Planetenbewegung wesentlicher Gesetze erkennen die Schüler in dem behandelten Teilbereich der theoretischen Himmelsmechanik ein leistungsfähiges Instrumentarium, mit dem sowohl bestimmte Bewegungszustände erklärt als auch Voraussagen für die Bewegung von Raumkörpern gemacht werden können. Die Schüler lernen außerdem verstehen, daß die im Planetensystem gefundenen Gesetze allgemein gelten und zur Beschreibung von entsprechenden Vorgängen bei anderen Sternsystemen und in noch größeren Räumen und Zeiten herangezogen werden können. Da direkte Experimente mit Himmelskörpern kaum möglich sind, erfahren die Schüler den Einsatz von Computersimulationen als geeignetes Mittel zur Analyse und Veranschaulichung. Sie lernen die grundlegenden physikalischen Bedingungen auf Planeten, Monden und Kometen kennen. Dabei soll ihnen bewußt werden, welche Fülle neuer Informationen die Raumfahrt dazu in jüngster Zeit erbracht hat.

Grundprinzipien der Himmelsmechanik; Energiegleichung für eine elliptische Umlaufbahn; Kreisbahn- und Fluchtgeschwindigkeit; Computersimulation der Bewegung eines Planeten oder Satelliten

Wiederholung der Keplerschen Gesetze und des Gravitationsgesetzes; Erläuterung der Exzentrizität; Zweikörperproblem (Kreisbahnen und Schwerpunktsatz); energetische Betrachtung der Bahnkurven (6 M); Erkennen der Bedeutung der Himmelsmechanik für die Raumfahrt

synodische und siderische Umlaufzeit der Planeten; relative Entfernungen der Planeten von der Sonne; Bestimmung des Erdbahnradius (1 AE)

Aufsuchen von Planeten am Himmel; Gewinnung der siderischen Umlaufzeiten aus den meßbaren synodischen; Veranschaulichung von Größenordnungen; Erläuterung der Radarmessung, Anwendung des 3. Keplerschen Gesetzes

Erdmond und Mondbahn: Mondphasen, Finsternisse; Gezeiten; Oberfläche des Mondes

Lage der Mondbahn; Erörterung der Gezeitenwirkung auf der Erde (6 Ek), Ausweitung der Überlegungen auch auf andere Himmelskörper

Materie im Sonnensystem: Eigenschaften der Planeten, Planetoiden, Kometen, Meteorite; Erforschung der planetaren Welten durch die Raumfahrt	Beobachtung der Venusphasen, der Jupitermonde und des Saturnrings (falls möglich); Einteilung der Planeten in erdähnliche und jupiterähnliche; Bahnlage und -exzentrizität bei Kometen; Hinweis auf die Wirkung von Strahlungsdruck und Sonnenwind auf die Kometenmaterie; Meteorkra- ter auf der Erde (6 Ek11); Bericht von Raumson- denmissionen und deren Ergebnissen (6 MT)
---	--

3 Die Sonne

(ca. 16 Std.)

Mit der Sonne lernen die Schüler den einzigen Stern kennen, der aufgrund seiner Nähe als ausgedehnte Scheibe sichtbar ist. Am typischen Stern Sonne werden viele grundsätzliche Beobachtungen und auch eigene Messungen gemacht, deren Ergebnisse danach auf die Fixsterne allgemein übertragen werden können. Die Schüler sollen den Wert der Solarkonstante möglichst selbst experimentell abschätzen; es soll ihnen bewußt werden, daß der gewaltige Betrag der Strahlungsleistung der Sonne nur durch die im Sonneninneren ablaufende Kernfusion erklärt werden kann. Durch die Betrachtung von Spektren lernen sie die Herkunft und Entstehung der Strahlung kennen.

Masse, Durchmesser und Strahlungsleistung der Sonne; Folgerungen über die Herkunft der Strahlungsenergie; Sonnenenergie aus Kernprozessen	experimentelle Abschätzung der Solarkonstante; Veranschaulichung der verschiedenen für die Sonne errechneten Daten; Mitteilung der Energiebilanz für eine Fusionsreaktion; Hinweis auf Bestrebungen, Energie durch kontrollierte Kernfusion in Reaktoren zu gewinnen
Linienpektren bei Wasserstoff, Helium und Natrium; Sonnenspektrum, Fraunhofersche Linien	Mitteilung, daß die Untersuchung des H-Spektrums die Existenz diskreter Energiestufen aufzeigt und so zur Gesetzmäßigkeit im Energieniveauschema des Wasserstoffs führt; Hinweis auf Energieniveauschemata anderer Atome (6 C); qualitative Erläuterung am Bohrschen Atommodell (keine Berechnung von Bahnradien und -energien)
Strahlungsgesetze von Stefan-Boltzmann und Wien; Oberflächentemperatur der Sonne	Mitteilung der Gesetze; Hinweis auf ihre grundlegende Bedeutung für die Physik der Sterne allgemein; Vergleich der mit ihnen abgeschätzten Sonnentemperaturen
Sonneninneres und Energietransport vom Kernbereich zur Oberfläche	plausibel machen, daß durch den außergewöhnlich hohen Druck im Zentrum dort auch extrem hohe Temperaturen herrschen müssen (Mitteilung: ca. $15 \cdot 10^6$ K, "Plasma"); keine Rechnungen dazu

Vorgänge an der Sonnenoberfläche; Granulation, Konvektion Beobachtung von Sonnenflecken oder ggf. Protuberanzen; Sonnenfleckenrhythmus; Hinweis auf die Rotation der Sonne; Sonnenwind und Auswirkungen

4 Fixsterne

(ca. 17 Std.)

Die Schüler werden durch physikalische Überlegungen zur Einsicht geführt, daß es sich bei den unzählig vielen Fixsternen am Himmel jeweils um eigenständige, sehr weit entfernte Sonnen handelt. Probleme und Grenzen der Bestimmungsmethoden für Entfernung und Bewegungszustand im Weltall werden ihnen bewußt. Sie können über die Auswertung von Sternhelligkeiten und Sternspektren nachvollziehen, wie sich mit dem Hertzsprung-Russell-Diagramm ein Ordnungsschema für die verschiedenen Zustandsgrößen der Sterne letztlich allein aus ihrer Masse ergibt, die damit den ganzen Lebenslauf eines jeden Sterns entscheidend bestimmt. Die Schüler erfahren, wie Sterne entstehen und vergehen, und wie sich dabei mitunter faszinierende und extreme Formen und Zustände ausbilden, deren physikalische Grundlagen doch teilweise mit irdischen Labormethoden erforscht werden können. So erleben sie, wie sich die Physik bei der Beschreibung und Erklärung der Natur auch in kosmischen Räumen und Zeiten bewährt (6 W).

Eigenbewegung; jährliche Parallaxe der Sterne als Maß für die Sternentfernung Angabe von Größenordnungen; Hinweis auf Störungen der Messungen durch Aberration und Refraktion

Doppler-Effekt: Verschiebung der Linien von Sternspektren;
Radialbewegung der Sterne Analogiebetrachtungen und Freihandversuche zum akustischen Dopplereffekt; Beschränkung auf die Näherungsgleichung
 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = v/c$

scheinbare und absolute Helligkeit; Strahlungsleistung (Leuchtkraft); Spektralklassen und Sterntemperatur Beispiele für das alte System der Helligkeitsschätzung und für gemessene Energieströme machen die Definition (Differenz von fünf Größenklassen entspricht Intensitätsverhältnis 100:1) einsichtig. Betrachtung von Sternspektren; exemplarische Erörterung des Zusammenhangs zwischen Spektraltyp und Oberflächentemperatur

Hertzsprung-Russell-Diagramm; spektroskopische Entfernungsbestimmung Verdeutlichung, daß die Struktur des HRD es ermöglicht, auch weit entfernte Sterne allein auf Grund ihres Spektrums einzuordnen; Verzicht auf die Einführung von Leuchtkraftklassen; Bestimmung von Sternradien aus Temperatur und Leuchtkraft

Doppelsterne; Massenbestimmung bei Fixsternen; Masse-Leuchtkraft-Beziehung für Hauptreihensterne Beobachtung von Doppelsternen, z.B. α Cyg, α UMa; Herleitung der Gleichungen für die Massenbestimmung am Spezialfall der Kreisbewegung; Abschätzung von Sternmassen aus scheinbarer Helligkeit und Temperatur mit Hilfe von $L - m^3$

Sternentwicklung; Übersicht über die wichtigsten Sterntypen: Hauptreihensterne, Riesen, Weiße Zwerge; Supernovae; Pulsare, Schwarze Löcher; Sternentstehungsgebiete und Sternhaufen; Bedeutung der Masse für den Lebenslauf eines Sterns; Alter von Sternhaufen	Deutung des Hauptreihenstadiums mit dem "H-Brennen" (Entwicklungszeit $\hat{\delta}$); Schilderung der vermutlichen Weiterentwicklung vom Riesen je nach Masse zum Weißen Zwerg, Neutronenstern oder Schwarzen Loch; Betrachtung des Crab-Nebels und eines Planetarischen Nebels; Hinweis auf die interstellare Materie als Geburtsstätte neuer Sterne
---	--

5 Größere Strukturen im Weltraum

(ca. 9 Std.)

Die Schüler erfahren, wie sich aus radioastronomischen Beobachtungen die Lage unserer Sonne innerhalb des rotierenden Milchstraßensystems erschließen läßt. Sie bekommen einen Einblick in die Welt der Galaxien. Das Prinzip der Entfernungsbestimmung als Mittel der Strukturerkennung führt sie mit dem Hubble-Gesetz bis zu den Quasaren an die Grenze des heute erfaßbaren Universums. Als logisch konsistente Schlußfolgerung hieraus wird ihnen bewußt, daß der Kosmos vor endlicher Zeit einen Anfang gehabt haben muß (6 W). Die Kenntnis kosmischer Bedingungen soll die Schüler zur realistischen Einsicht leiten, daß jeder Mensch sein Mögliches tun muß, um unsere kleine Erde lebensfähig zu erhalten (6 U).

Größe und Struktur unserer Galaxis, Ort des Sonnensystems in ihr	Beobachtung der Milchstraße (Auflösung in Einzelsterne, Deutung der Dunkelwolken; Kugelsternhaufen); Massenabschätzung der Galaxis anhand der Sonnenumlaufzeit; Beobachtung des Andromedanebels als Beispiel eines der Milchstraße ähnlichen Systems; Hinweis auf die erweiterten Beobachtungsmöglichkeiten der Radioastronomie
Entfernungsbestimmung mit Hilfe der α -Cephei-Veränderlichen; Rotverschiebung der Galaxienspektren und ihre Deutung als Fluchtbewegung; Gesetz von Hubble	Betrachten von Bildern; Aufzeigen der annähernden Proportionalität von Fluchtgeschwindigkeit und Entfernung bei den weit entfernten Galaxienhaufen; Hinweis auf Quasare als oberste Meilensteine dieser Skala (keine Analyse der Energieproblematik)
Modell eines kosmischen Anfangs; Urknallhypothese und Zeitskala	Berechnen des Weltalters unter der Annahme einer zeitlich konstanten Expansionsgeschwindigkeit ($1/H$); Eingehen auf die 3K-Hintergrundstrahlung und die radioaktive Altersbestimmung

Grundkurs Physik (Informatik)

(3)

An ausgewählten Beispielen sollen sinnvolle Einsatzmöglichkeiten des Computers in einer naturwissenschaftlichen Disziplin aufgezeigt, in grundsätzliche Arbeitsweisen der Informatik eingeführt und ein Einblick in das moderne physikalische Weltbild (6 W) gegeben werden.

Die Schüler werden in die Physik der Atomhülle und der Atomkerne eingeführt und lernen dabei gleichzeitig den Computer als vielseitiges Hilfsmittel kennen (6 MT). Durch den Einsatz des Computers im Grundkurs Physik (Informatik) können Einblicke in Teilgebiete der Physik gewährt werden, die der Schulphysik bisher aufgrund eines mathematisch hohen Anforderungsniveaus (6 M) oder wegen zu großen Zeitaufwands verschlossen bleiben mußten; neue Möglichkeiten zur physikalischen Erkenntnisgewinnung können eröffnet und neue Strategien zur Problemlösung anhand physikalischer Inhalte erlernt werden. Durch geeignete Simulationen kann ein tieferer Einblick in die Theorie der physikalischen Modellbildung geboten werden (6 W). Die Informatik erweist sich dabei als Strukturwissenschaft, von deren Ergebnissen u.a. auch die Physik profitiert.

Da die praktische Tätigkeit am Experiment und am Rechner eine Grundvoraussetzung zur Erreichung des Lernerfolgs darstellt, sind neben den ausgewiesenen Richtstundenzahlen 10 weitere Stunden für Übungen und Eigentätigkeiten der Schüler eingeplant.

Ein wesentlicher Bestandteil des Unterrichts ist die Projektarbeit. Von den vorgeschlagenen fünf Themen sind zwei an geeigneter Stelle verpflichtend zu bearbeiten.

1 Struktur des Atoms

(ca. 18 Std.)

1.1 Simulation von Bewegungen in homogenen und radialsymmetrischen Feldern

Ausgehend von kinematischen und dynamischen Gleichungen entwickeln die Schüler einen einfachen Iterationsalgorithmus; sie lernen dabei, die Bewegung eines Körpers in einem gegebenen Kraftfeld zu simulieren. Sie wenden diese Fertigkeiten auf α -Teilchen im Coulombfeld eines Atomkerns an und gewinnen so tiefere Einsichten in den Aufbau der Atome (6 C).

rechnerische Ermittlung der Bewegung eines Körpers im homogenen und radialsymmetrischen Feld

Entwickeln eines Iterationsalgorithmus; graphische Darstellung der Bewegungen

Struktur des Atoms, Entdeckung des Atomkerns

Durch Computersimulation des Streuversuchs von Rutherford können die historischen Überlegungen plausibel gemacht werden (6 G, C); Mitteilung der Formel für die potentielle Energie einer Ladung im Coulombfeld und Überprüfen der Güte der Simulation für den Spezialfall des zentralen Stoßes

Eine Vertiefung der Thematik ermöglicht das Projekt 3.4.

1.2 Meßwerterfassung; Linienspektrum des Wasserstoffatoms

Die Schüler lernen in der computergestützten Meßwerterfassung ein leistungsfähiges und flexibles Meßsystem kennen. Die Deutung von Absorptionsexperimenten führt sie zur Einsicht, daß Atome

diskrete Energien aufnehmen. Durch die Bohrschen Überlegungen zum Wasserstoffatom wird den Schülern deutlich, wie Intuition und Denken in Modellen zu neuen Erkenntnissen führen können (6 W). Sie erfahren, wie die Unzulänglichkeiten des Bohrschen Modells erst durch das quantenmechanische Modell (6 C) behoben werden.

Meßwerterfassung mit dem Computer an Beispielen aus der Atom- und Kernphysik	Erörterung der einzelnen Elemente der Meßeinrichtung; Diskussion der Umsetzungen in den einzelnen Gliedern der Meßkette und der auftretenden Fehlermöglichkeiten
--	--

historische Entwicklung des Modells diskreter Energiestufen; Linienspektrum und Energieniveauschema des Wasserstoffatoms, Franck-Hertz-Versuch	Aufnahme eines Linienspektrums mit Photosensor, Ortssensor und Computer; gezieltes Suchen nach der Balmerformel (6 G) mit Hilfe eines Tabellenkalkulationsprogramms; Aufnahme der $U-I$ -Kennlinie des Franck-Hertz-Rohrs mit dem Computer; Interpretation der Ergebnisse
---	---

Eine Vertiefung der Thematik ermöglichen die Projekte 3.1 und 3.5.

2 Radioaktivität

(ca. 12 Std.)

Aus Experimenten mit radioaktiver Strahlung lernen die Schüler deren Eigenschaften und eine Nachweismethode kennen sowie die Notwendigkeit von Maßnahmen des Strahlenschutzes einsehen. Sie erkennen den besonderen Nutzen der computerunterstützten Meßwerterfassung bei der Registrierung von Impulzählraten über einen längeren Zeitraum.

Nachweis hochenergetischer Strahlung mit dem Zählrohr; α -, β -, γ -Strahlung, Kernumwandlung, Verschiebungssätze	Diskussion möglicher physikalischer Effekte zum Nachweis hochenergetischer Strahlung; Funktionsweise eines Zählrohrs; Nachweis der einzelnen Strahlungsarten durch einfache Versuche zum Absorptionsverhalten und zum Verhalten im Magnetfeld
---	---

quadratisches Abstandsgesetz, Absorption, biologische Strahlenwirkung, Strahlenbelastung des Menschen; Energie- und Äquivalentdosis, Strahlenschutzmaßnahmen	Erläuterung von Verhaltensregeln nach dem Strahlenschutzgesetz (6 B, C; 6 GE); Modellrechnungen zur Dosimetrie
--	--

Ein Programm zur Erfassung und graphischen Darstellung der Zählraten kann optisch eindrucksvoll die Zufälligkeit der Ereignisse veranschaulichen sowie die Auswertung vereinfachen. Eine Vertiefung der Thematik ermöglichen die Projekte 3.2 bzw. 3.3.

3 Projektarbeit (ca. 26 Std)

Einführung in die Projektarbeit (ca. 4 Std.)

Die Schüler erfahren die Projektarbeit als arbeitsteiliges, interdisziplinäres Vorhaben bei vorgegebenem Ziel und vorgegebenem Termin. Sie sollen dabei die einzelnen Phasen der Projektarbeit (6 MT) kennenlernen und so durch ein in der Praxis übliches Arbeitsverfahren eine Vorbereitung auf Studium und Beruf erhalten (6 BO). Ein wesentliches Anliegen der Projektarbeit ist auch die Erziehung zur konstruktiven Teamarbeit.

Phasen eines Projekts: Planung, Realisierung, Bewertung	Zusammenarbeit im Team, Erstellung schriftlicher Zusammenfassungen zur Information der anderen Arbeitsgruppen
--	---

Es wird empfohlen, das Phasenmodell für ein Projekt in Verflechtung mit dem ausgewählten Thema zu behandeln. Bei der Projektarbeit sollten möglichst viele und verschiedenartige Arbeitstechniken eingeplant werden, so daß die Schüler zu einer selbständigen Arbeitsweise finden. Durch Lehrervorgaben können einzelne Phasen verkürzt werden.

3.1 Projekt "Quantenmechanisches Atommodell" (ca. 11 Std.)

Beim Versuch mit der Elektronenbeugungsröhre erleben die Schüler das erstaunliche Phänomen der Teilchenstrahlinterferenz. Die Deutung dieses Phänomens führt sie zur der Einsicht, daß das Verhalten von Mikroobjekten zwei Aspekte, den Wellen- und den Teilchenaspekt, aufweist, die unseren vom Makrokosmos geprägten Vorstellungen unvereinbar erscheinen. Erst die statistische Deutung nach Max Born löst die scheinbaren Widersprüche (6 G). In der zeitunabhängigen Schrödingergleichung lernen die Schüler eine Beziehung kennen, die formal der schon bekannten Schwingungsgleichung entspricht. Sie sind somit in der Lage, die Lösung dieser Differentialgleichung iterativ zu berechnen und zu interpretieren.

Teilchenstrahlinterferenz; Elektronenbeugung, de-Broglie-Wellenlänge; statistische Deutung nach Born, Heisenbergsche Unschärferelation; Schrödingergleichung	Erkennen und Diskutieren der Welleneigenschaft bewegter Elektronen; Mitteilung des Zusammenhangs zwischen der Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Teilchens und der zugehörigen de-Broglie- bzw. elektromagnetischen Welle; die Heisenbergsche Unschärferelation wird anhand einfacher Beispiele besprochen und plausibel gemacht; Erläuterung der zeitunabhängigen Schrödingergleichung in Analogie zur Betrachtung stehender Wellen
--	--

iterative Lösung der zeitunabhängigen Schrödingergleichung; physikalische Interpretation der gewonnenen Lösungen	arbeitsteiliges Erstellen eines Programmes zur Bestimmung der Lösungen der zeitunabhängigen Schrödingergleichung; "experimentelles" Bestimmen und Deuten von Lösungen (6 C) im eindimensionalen Fall, Mitteilung der Lösung für den dreidimensionalen Fall
--	--

Der Schwerpunkt dieses Projekts liegt in der Konzeptionsphase. Bei der Erstellung des Programms für die Lösung der zeitunabhängigen Schrödingergleichung sollen die Schüler entweder vorhandene Module verwenden oder geeignete Standardsoftware einsetzen. Die entdeckten Lösungen für

eindimensionale Potentiale (senkrechter Wall, Coulombpotential) werden gemeinsam gedeutet. Weitere stabile Lösungen der Schrödingergleichung für den dreidimensionalen Fall werden den Schülern mitgeteilt und mit geeigneten Medien (Film, Computeranimation oder Modellversuch) demonstriert.

3.2 Projekt "Erstellung eines Modells für den radioaktiven Zerfall" (ca. 11 Std.)

Die Schüler erhalten einen Einblick in die Zählstatistik und lernen die Möglichkeiten kennen, die die Meßwerterfassung mit einem Computermeßplatz gerade bei kernphysikalischen Messungen bieten kann. Auf Grund der experimentellen Erkenntnisse sollen die Schüler Modellvorstellungen für den radioaktiven Zerfall entwickeln, die Modelle in einer Computersimulation testen und die Ergebnisse der Simulation mit denen des Realexperiments vergleichen können.

Zählstatistik bei kernphysikalischen Messungen: Nulleffekt, Mittelwert, Streuung, Poissonverteilung	arbeitsteiliges Erstellen von Meß-, Simulations- und Auswertungsprogrammen zum radioaktiven Zerfall eines Präparats mit großer Halbwertszeit; Erarbeiten und Testen verschiedener Hypothesen
---	---

Meßeinrichtung zur Aufnahme einer Zer- fallskurve; Zerfallsgesetz, Halbwertszeit	Registrieren der zeitlichen Abnahme der Aktivität eines Präparats mit kleiner Halbwertszeit (6 C); Simulieren dieses Zerfalls; Vergleich der Ergebnisse von Experiment und Simulation
---	--

3.3 Projekt "Datenverarbeitung anhand der Nuklidkarte" (ca. 11 Std.)

Bei diesem Projekt sollen die Schüler an einem physikalischen Lerninhalt Fragestellungen und Techniken der kommerziellen Softwareentwicklung kennenlernen (6 WR). Sie sollen die Vielfalt der Kernreaktionen entdecken und am Beispiel der Nuklidkarte lernen, physikalisches Wissen in eine geeignete Datenstruktur umzusetzen und auf einer programmierbaren Datenbank zu installieren.

Kernumwandlungen bei α^- , α^- , α^+ - Zerfall und K-Einfang; Isotopie, Energiebilanzen; Nuklidkarte	Zusammenfassung der Erkenntnisse in Lehrer- und Schülervorträgen; Erläuterung der Stabilitätslinie in der Nuklidkarte
--	---

Einrichten einer Datenbank für die Nuklidkarte; Erstellen spezieller Auswertungsprogramme	Konstruktion der Datenstruktur im Plenum, Realisierung durch eine Gruppe, gemeinsame Beratung aller anfallenden Teilaufgaben, Erstellung der Programme in Gruppenarbeit
--	--

Dokumentation von Datenstruktur, Programm- struktur, Benutzerführung	Diskussion von Qualitätskriterien anhand des fertiggestellten Produkts (6 MT)
---	--

3.4 Projekt "Simulation kontinuierlicher Vorgänge" (ca. 11 Std.)

In den Schülern soll ein Bewußtsein für die Notwendigkeit von Modellbildung und Simulation in der Physik geweckt werden. Sie sollen einen Überblick über Prämissen und Ziele der Modellbildung erhalten und in die Lage versetzt werden, dynamische Systeme in einen entsprechenden Algorithmus und ein Programm umzusetzen. Sie sollen sich auch der eingeschränkten Aussagekraft der Simulation gegenüber der Realität bewußt werden und speziell bei Prognosesimulationen zu einer gewissen Kritikfähigkeit (6 W) gelangen.

Modellbildung: Abgrenzung, Abstraktion, Verdeutlichen des Vorgehens bei der Modellbildung anhand von physikalischen Beispielen; Idealisierung, Modellstruktur; Abgrenzen von zufallsbedingten Einflüssen gegen deterministische und von diskreten Einflüssen gegen kontinuierliche; Diskussion der Notwendigkeit und des Nutzens von Simulationen an Beispielen (6 MT)

Ziele der Simulation: Ersatz, Erklärung, Prognose, Entscheidung, Training

Festlegung der Modellstruktur eines ausgewählten Beispiels für einen kontinuierlichen Vorgang; Lösung des Problems durch Diskretisierung und Umsetzung in ein Programm

Erarbeiten der wesentlichen Grundlagen eines Modells für ein dynamisches System; arbeitsteilige Erstellung der zugehörigen Programme einschließlich graphischer Darstellung der Lösungen

Erstellung von Modellen zu verschiedenen dynamischen physikalischen Systemen als Grundlage der Computersimulation; Bewertung der Güte von Simulationen

Vergleichen der Ergebnisse der Simulationen mit denen des Realexperiments; Diskussion der vorhandenen Abweichungen

Als Einführungsbeispiele für die Modellbildung und Simulation bieten sich an: Entladung eines Kondensators, radioaktiver Zerfall, freier Fall mit Luftreibung. Beispiele für die arbeitsteilige Projektphase sind: gedämpftes Federpendel, Schwingkreis, Zerfallsreihe, Bewegung im Gravitationsfeld, Stoßvorgänge

3.5 Projekt "Messung einer analogen physikalischen Größe mit dem Computer" (ca. 11 Std.)

Die Schüler sollen erkennen, wie fundierte physikalische Kenntnisse die Grundlage für Meßaufgaben bilden. Sie gewinnen die Einsicht, daß jede Messung mit Fehlern behaftet ist und somit eine Fehleranalyse notwendig wird (6 MT).

Aufbau der verwendeten Meßkette; physikalische Grundlagen der einzelnen Glieder der Meßkette; elektrische Anpassung des Sensors; Prinzip der Analog-Digital-Wandlung

arbeitsteiliges Sammeln und Dokumentieren der vorhandenen bzw. der aus der Fachliteratur gewonnenen Kenntnisse über die Glieder der Meßkette; Informationsaustausch über Schülerreferate und Arbeitspapiere

Bestandteile der Meßkette und ihr Zusammenwirken, Fehlermöglichkeiten; Kalibrierung des Sensors mit Hilfe eines Programms

arbeitsteiliges Realisieren der Meßeinrichtung und des Erfassungsprogramms mit graphischer und numerischer Ausgabe der Meßergebnisse

Dokumentation von Versuchsaufbau, Programmstruktur und Programmbedienung

Diskussion von Qualitätskriterien anhand des fertigen Produkts

Als einfaches und überschaubares Meßvorhaben bietet sich z.B. der Bau eines "Computertermometers" an.

Leistungskurs

(6)

Im Leistungskurs setzen sich die Schüler vertieft mit physikalischen Inhalten und Methoden auseinander. Sie erarbeiten die wichtigsten Begriffe weiterer Gebiete der klassischen Physik, u.a. der Elektrodynamik und der Wellenoptik; damit können sie den Erkenntnissen der modernen Physik aufgeschlossen begegnen, Gemeinsamkeiten mit der klassischen Betrachtungsweise erkennen, aber auch die Notwendigkeit und Bedeutung neuer Vorstellungen und Gedanken einsehen. Analogiebetrachtungen und Modellbildungen spielen eine bedeutende Rolle; sie fördern in besonderem Maße die sprachliche Ausdrucksfähigkeit (6DS). Im Gegensatz zum Grundkurs treten quantitativ-mathematische Beschreibungen mit Methoden der Differential- und Integralrechnung (6 M) stärker in den Vordergrund und fordern von den Schülern, auch mathematisch klar zu formulieren; der Vektorbegriff wird erweitert und vertieft.

Im Zentrum des Unterrichts steht das Experiment. Die Schüler sollen an Beispielen erfahren, welches Ziel man mit einzelnen Experimenten verfolgt, welche Schwierigkeiten auftreten können und mit welchen Mitteln man sie überwindet. Die Ergebnisse der Experimente münden in der Regel in eine Theorie, die nie Selbstzweck ist, sondern tieferen Einblick in das Verhalten der Natur gibt. Die Schüler sollen lernen, den Computer als nützliches Gerät zu verwenden, das in vielfältiger Weise zur Meßwerterfassung und Auswertung sowie zur Bearbeitung mathematischer Modelle benutzt werden kann. In Referaten sollen die Schüler lernen, aus bereitgestellter Literatur richtig auszuwählen, einen Vortrag sinnvoll zu gliedern und zu gestalten, in freier Rede vorzutragen (6 DS) und ein Experiment überzeugend vorzuführen. Im experimentellen Praktikum sollen sich die Schüler selbst mit Sinn und Zweck von Experimenten auseinandersetzen und ihre Versuchsergebnisse beurteilen lernen.

Von den mit (*) gekennzeichneten Themenbereichen "3 Einführung in die spezielle Relativitätstheorie (*)" bzw. "4 Einführung in die Theorie der Wärme (*)" muß nur einer mit allen Inhalten behandelt werden; dieser gewählte Themenbereich wird in **Jahrgangsstufe 12** begonnen und in **Jahrgangsstufe 13** fortgeführt. Aus dem jeweils anderen Themenbereich werden nur die mit (**) gekennzeichneten Inhalte vermittelt.

Der Themenbereich "8 Experimentelles Praktikum" soll im Umfang von ca. 24 Std. gleichmäßig auf die **Ausbildungsabschnitte 12/1, 12/2 und 13/1** verteilt werden. Jeder Schüler soll wenigstens sechs Versuche aus verschiedenen Themenbereichen bearbeiten.

Jahrgangsstufe 12

1 Elektrisches und magnetisches Feld

(ca. 80 Std.)

1.1 Elektrisches Feld

(ca. 44 Std.)

An Experimenten lernen die Schüler das elektrische Feld als Kraftfeld kennen. Ausgehend von der Messung der Kraftwirkung auf Probekörper verstehen sie die Notwendigkeit der Einführung einer Größe, der elektrischen Feldstärke, die das elektrische Feld quantitativ und in seiner Struktur beschreibt. Dabei erfahren sie wieder, wie nützlich die Verwendung des Energiebegriffs ist und in welchem tiefergehenden Zusammenhang die elektrische Spannung zu sehen ist. Aus der Tatsache, daß das elektrische Feld ein Energieträger ist, gewinnen die Schüler eine vertiefte Einsicht in die Natur eines Kraftfelds. Bei der Besprechung und Durchführung des historischen Versuchs von Millikan erfahren sie, daß Ladungen nur als ganzzahlige Vielfache einer Elementarladung auftreten können und daß die Messung einer fundamentalen Größe experimentelle Probleme aufwirft (6 W). Die Behandlung der

Bewegung geladener Teilchen in elektrischen Feldern läßt die Schüler erkennen, daß Bewegungen in gleich strukturierten Kraftfeldern gleichartig ablaufen.

Stromstärke, Spannung, Widerstand;
Ohmsches Gesetz, Kirchhoffsche Gesetze;
elektrische Energie und Leistung

Wiederholung und Vertiefung der Begriffe;
Messen der elektrischen Größen

Aufladen und Entladen eines Kondensators;
elektrische Ladung;
Definition der Kapazität

Interpretation der Fläche unter dem t - I -Graphen
als Ladung (6 M12: Vorbereitung des Integralbegriffs);
Prinzip der Ladungsmessung; Versuche
zu $C = Q/U$

elektrisches Feld: Kräfte zwischen geladenen
Körpern, Feldlinien, elektrische Feldstärke;
Ladungen als Quellen und Senken des stationären
elektrischen Feldes

Wiederholung des Feldbegriffs; Versuch zu $F/Q = const.$;
Definition der elektrischen Feldstärke, Veranschaulichung
durch Feldlinien; Analogiebehandlung zu $g = F_g/m$ als
Gravitationsfeldstärke

Potential; Äquipotentiallinien und -flächen;
potentielle Energie eines geladenen Teilchens im
homogenen elektrischen Feld

Entwicklung des Potentialbegriffs aus der Arbeit,
die bei der Bewegung eines geladenen Teilchens
im elektrischen Feld verrichtet wird

Definition der elektrischen Spannung als Potentialdifferenz

Auswerten eines Versuchs zur Potentialmessung,
z.B. mit der Flammsonde

Kondensator und homogenes elektrisches Feld

experimentelle Untersuchung von
 $C = \epsilon_0 A/d$ beim Plattenkondensator; Herleiten
von $E = U/d$

Influenz; Verschiebungsdichte; Grundgleichung
des elektrischen Feldes

Untersuchung der (Flächen-)Ladungsdichte, die
im Grundversuch zur Influenz auftritt; Ladungsdichte
 $D = Q_i/A_i = \epsilon_0 E$

radialsymmetrisches Feld, Coulomb-Gesetz;
Kapazität des Kugelkondensators

experimentelle Bestimmung der influenzierten
Ladungsdichte im radialsymmetrischen Feld und
Berechnung der Feldstärke aus der
Grundgleichung; Berechnung und Messung des
Potentialverlaufs im Coulombfeld

elektrisches Feld als Träger elektrischer Energie;
Energiedichte des elektrischen Feldes; Kraft
zwischen den Platten eines geladenen
Kondensators

energetische Betrachtung des Feldaufbaus bzw. -
abbaus; Herleitung der Energiedichte für den
Plattenkondensator und Verallgemeinerung

Quantelung der Ladung;
Millikan-Versuch und Elementarladung;
Ladung als Erhaltungsgröße

Die Verknüpfung der Faradayschen Gesetze der Elektrolyse (6 C11) mit der Annahme einer atomistischen Struktur der Materie legt die Existenz einer Elementarladung nahe. Durchführung und Auswertung des Millikan-Versuchs; Hinweis auf die historische Bedeutung (6 G)

Bewegung geladener Teilchen in elektrischen Feldern;
homogenes Feld, Zentralfeld

Herausarbeiten der Analogie zu den Bewegungen in Gravitationsfeldern (vgl. Ph11); experimentelle Überprüfung beim homogenen elektrischen Feld; Beschränkung auf
click here to view equation. 4 und
click here to view equation. 5

Energieeinheit Elektronenvolt

Besprechung der Funktionsweise eines Linearbeschleunigers (6 MT)

1.2 Magnetisches Feld

(ca. 36 Std.)

Mit dem Magnetfeld lernen die Schüler ein weiteres Kraftfeld kennen, das aber andere Eigenschaften hat als das elektrische Feld. Anhand der Beobachtung, daß jeder elektrische Strom von einem Magnetfeld umgeben ist, vollziehen sie die historische Entwicklung nach, die aus den getrennten Teilgebieten Elektrizität und Magnetismus die vereinheitlichende Theorie des Elektromagnetismus entstehen ließ (6 W). Ausgehend vom Phänomen "Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld" sollen die Schüler die im Zusammenhang mit dem elektrischen Feld verstandene Einführung einer feldbeschreibenden Größe auf das Magnetfeld übertragen können. Am Induktionsgesetz erkennen sie, wie das Zusammenwirken von Experiment und Theorie zu neuen Erkenntnissen führt (6 W). Die Schüler erfahren, daß auch das magnetische Feld ein Träger von Energie ist. Eine abschließende Zusammenfassung von elektrischen und magnetischen Erscheinungen schafft die Voraussetzungen für das Verständnis von elektromagnetischen Schwingungen und Wellen. Die Vielfalt von technischen Anwendungen, die unmittelbar auf der Kraftwirkung auf bewegte Ladungen beruhen oder aus dem Induktionsgesetz gefolgert werden können, macht den Schülern deutlich, daß die Physik wesentliche Grundlagen für technische Anwendungen in Alltag und Umwelt bereitstellt (6 MT).

magnetisches Feld: Feldlinien; Magnetfeld eines stromdurchflossenen Leiters;
Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld, Regel für die Krafrichtung

Aufgreifen und Präzisieren von Grundbegriffen

magnetische Flußdichte
Lorentzkraft

Versuch zu $F/(Il) = const.$, Definition der magnetischen Flußdichte ; Zurückführen von F auf die Lorentzkraft;
Erörterung des allgemeinen Zusammenhangs zwischen Strom-, Feld- und Krafrichtung (keine Behandlung des Vektorprodukts)

Hall-Effekt; Hall-Sonde	Versuche zum Hall-Effekt, auch an Halbleitern; Herleitung von Aussagen über Konzentration und Ladungsvorzeichen der Ladungsträger in Festkörpern; Ausmessen von magnetischen Feldern mit der Hall-Sonde; Hinweis auf technische Anwendungen (6 MT)
Bewegung geladener Teilchen im homogenen Magnetfeld; spezifische Ladung; technische Anwendungen: Zyklotron, Massenspektrograph, MHD-Generator, Geschwindigkeitsfilter	Demonstration verschiedener Fälle mit dem Fadenstrahlrohr, e/m -Bestimmung mit dem Fadenstrahlrohr; Festigung und Vertiefung durch Anwendungsaufgaben, auch aus der Atom- und Kernphysik (vgl. Ph13)
Flußdichte in der langgestreckten stromdurchflossenen Zylinderspule	Gewinnen von $B = NI/l$ durch Ausmessen von Spulenfeldern; Messung der magnetischen Feldkonstante μ_0 ; Amperedefinition
Induktion in bewegten und in ruhenden Leitern: Induktionsgesetz; magnetischer Fluß; Lenzsche Regel	Deduktion der Induktionsspannung und Bestätigung in Experimenten; Einführung der Größe magnetischer Fluß zur Formulierung des Induktionsgesetzes in differentieller und integraler Form (6 M); Demonstration von Anwendungen (6 MT: z.B. Tauchspulmikrophon, elektromagnetischer Tonabnehmer, Transformator, Wirbelstrombremse), Festigung durch Übungsbeispiele
Erzeugung einer sinusförmigen Wechselspannung; Effektivwerte und Scheitelwerte von Stromstärke und Spannung	deduktive Herleitung von $U = U_0 \sin \omega t$ aus dem Induktionsgesetz; Bestätigung im Experiment; Vergleich von Gleich- und Wechselströmen gleicher mittlerer Leistung; Hinweis auf die Eichung von Wechselstrommeßgeräten
Selbstinduktion; Induktivität	Demonstration und Deutung der Selbstinduktion bei Ein- und Ausschaltvorgängen; quantitative Erfassung mit Hilfe des Induktionsgesetzes; Besprechung technischer Anwendungen (6 MT, V: z.B. Zündspule)
magnetisches Feld als Träger magnetischer Energie; Energiedichte des magnetischen Feldes	energetische Betrachtung des Feldaufbaus bzw. -abbaus; Ermittlung der Energiedichte für das homogene Feld einer langgestreckten Zylinderspule und Verallgemeinerung
Gegenüberstellung von elektrostatischem und magnetischem Feld	Zusammenfassung der bisher besprochenen Inhalte, Ausblick auf eine Zusammenfassung der Theorie des elektromagnetischen Feldes durch Maxwell (6 W); Hinweis auf den Unterschied zwischen Quellen- und Wirbelfeldern
Der gesamte Abschnitt ist sehr anwendungsorientiert; zu jedem der angeführten Punkte sollen nach Möglichkeit technische Anwendungen besprochen werden (6 MT). Bei den Lerninhalten "Induktion", "Effektiv- und Scheitelwerte" und "Selbstinduktion" bietet sich der Einsatz eines (Computer-)	

Speicheroszilloskops an. Die vielfältigen Möglichkeiten der Bahnbewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern lassen sich eindrucksvoll anhand von Computersimulationen demonstrieren.

2 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen (ca. 54 Std.)

2.1 Elektromagnetische Schwingungen (ca. 18 Std.)

Die Schüler lernen durch Experimente die Vorgänge im elektromagnetischen Schwingkreis kennen und die Analogie zum mechanischen Oszillator verstehen. Durch die mathematische Ausschärfung der Erkenntnisse gewinnen sie ein tieferes Verständnis für die Vorgänge beim harmonischen Oszillator und für den Zusammenhang zwischen der Periodendauer und den übrigen Größen des Oszillators (6 M). Als Hilfsmittel zur Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen lernen die Schüler das Rückkopplungsprinzip kennen, das sich auch auf nicht-elektrische Systeme übertragen läßt. In Analogie zu den entsprechenden mechanischen Erscheinungen beobachten sie das Phänomen der Resonanz bei erzwungenen Schwingungen und sollen diese Vorgänge qualitativ beschreiben (6 DS) können.

kapazitiver und induktiver Widerstand

Erarbeitung der Beträge der Wechselstromwiderstände von Kondensator und Spule (keine Berechnung von Gesamtwiderständen zusammengesetzter Schaltungen)

elektromagnetischer Schwingkreis;
Thomson-Gleichung

Entladung eines Kondensators über eine Spule; Gegenüberstellung von elektrischer und mechanischer Schwingung; Aufstellen der Differentialgleichung für elektromagnetische und mechanische harmonische Oszillatoren (6 M), Herleitung der Thomson-Formel durch einen "plausiblen" Lösungsansatz (6 MT, V: Induktionsschleifen zur Verkehrszählung und -leitung); Hinweis auf die elektronische Klangerzeugung (6 Mu)

Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen; Rückkopplung

Ausblick auf die Bedeutung der Rückkopplung auch bei nicht-elektrischen Regelkreisen (6 B: z.B. Körpertemperatur, Pupillenreaktion; 6 WR: z.B. Käuferverhalten)

erzwungene Schwingungen; Resonanz

Aufnahme einer Resonanzkurve; Diskussion des Amplituden- und Phasenverhaltens (qualitativ); vergleichende Betrachtung von mechanischer (6 Mu) und elektrischer Schwingung; Erarbeitung der Meißner- oder der Dreipunktschaltung

2.2 Elektromagnetische Wellen

(ca. 36 Std.)

Der Übergang vom geschlossenen zum offenen Schwingkreis macht den Schülern deutlich, daß von einem schwingenden Dipol elektromagnetische Wellen abgestrahlt werden; damit erarbeiten sie sich Grundlagen der modernen Kommunikationstechnik (6 MT). Anhand von Ausbreitungs-, Beugungs- und Interferenzversuchen mit Mikrowellen, mechanischen Wellen und Licht sollen die Schüler die Bedeutung des Wellenmodells zur Beschreibung von Phänomenen der Natur verstehen. Sie lernen, daß auch das Licht eine elektromagnetische Welle ist.

elektrische Dipolschwingungen	experimenteller Nachweis der Stromstärke- und Ladungsverteilung im induktiv angeregten Stabdipol, Betrachtung der Momentbilder im zeitlichen Abstand $T/4$; Grundschiwingung des $\ddot{e}/2$ -Dipols als stehende Welle; Oberschwingungen
Dipolstrahlung, Wellencharakter der Dipolstrahlung; Ausbreitungsgeschwindigkeit c	Nachweis der Richtungsabhängigkeit der Dipolstrahlung; Nachweis von stehenden Wellen vor einer reflektierenden Wand; Hinweis auf die Energieabstrahlung jeder beschleunigten Ladung
Reflexion, Brechung, Polarisation, Interferenz und Beugung elektromagnetischer Wellen	Versuche mit dem Mikrowellensender, Analogieversuche mit Seilwellen und Wasserwellen; Wellenlängenmessung; Berechnung der Ausbreitungsgeschwindigkeit bei bekannter Senderfrequenz; Hinweis auf technische Anwendungen besonders in der Kommunikationstechnik (6 MT, ME)
Sendung, Übertragung und Empfang elektromagnetischer Wellen	Betrachtung modulierter Schwingungen am Oszilloskop; Beschränkung auf Grundlagen (6 BO, ME, MT: Auswirkungen moderner Technologien)
Licht als elektromagnetische Welle, Beugungs- und Interferenzversuche mit Licht	Demonstration der Beugung von Licht am Einfachspalt; Nachweis der Wellennatur im Doppelspaltversuch: klare begriffliche Trennung von Beugung und Interferenz (6 MT: z.B. Prinzip der Holographie, Vergütungsschichten); Versuch von Pohl
Einfachspalt	Vergleich mit der Interferenz am Doppelspalt; Erklärung durch eine einfache Theorie; Hinweis auf das Auflösungsvermögen optischer Geräte
Messung der Wellenlänge des Lichts mit dem optischen Gitter; Auflösungsvermögen eines Gitterspektrographen	Mehrfachspalt: Aufnahme der Verteilung der Beleuchtungsstärke; Unterscheidung von Haupt- und Nebenmaxima; Vergleich von Gitter- und Prismenspektren
Polarisation des Lichts	Versuche mit Polarisationsfiltern (6 C: optische Aktivität); Polarisation durch Reflexion

elektromagnetisches Spektrum; Erzeugung, Nachweis und technische Anwendung elektromagnetischer Strahlung; Bragg-Beziehung	An- Nachweis der infraroten und ultravioletten Strahlung mit Thermosäule bzw. Fluoreszenz (6 MT); Erläuterung des Prinzips der Erzeugung von Röntgenstrahlung und des Nachweises mit dem Zählrohr; Ausblick auf Interferenzversuche mit monochromatischer Röntgenstrahlung; Demonstration der Glanzwinkel bei Bragg-Reflexion im Modellversuch mit Mikrowellen
---	---

3 Einführung in die spezielle Relativitätstheorie (*) (ca. 30 Std.)

Falls dieser Themenbereich nicht mit allen Inhalten behandelt wird, sollen die mit (**) gekennzeichneten Inhalte bereits bei der Behandlung der Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern besprochen werden; für die Durchnahme sind dann ca. 10 Std. eingeplant.

3.1 Relativistische Kinematik (ca. 20 Std.)

Mit der speziellen Relativitätstheorie arbeiten sich die Schüler zum ersten Mal in ein Gebiet der modernen Physik ein. In der historischen Auseinandersetzung über Theorien zur Lichtausbreitung lernen sie den Ausgangspunkt der Relativitätstheorie kennen, aber auch die Tatsache, daß die Theorie des Elektromagnetismus indirekt bereits die Relativitätstheorie mit einschließt. Sie gewinnen Verständnis für die Problematik der Einführung eines zeitlich-räumlichen Bezugssystems und erfahren, welche weitreichende und geradezu paradox anmutende Folgerungen aus zwei leicht einsehbaren Grundannahmen gezogen werden müssen (6 W).

Zurückführung von Längenmessungen auf Zeitmessungen, Echolot und Entfernungsradar; c als Grenzgeschwindigkeit (**)	Hervorheben der Sonderstellung elektromagnetischer Signale im Vakuum: größte bekannte Ausbreitungsgeschwindigkeit c , kein materieller Träger erforderlich
---	--

Michelson-Versuch	Berechnung der Veränderung von Schall-Laufzeiten durch Wind und Analogieschluß auf das von Michelson erwartete Versuchsergebnis; Beschreibung des Versuchs und Berechnung der von Michelson erwarteten Verschiebung der Interferenzstreifen; historische Bedeutung des Michelson-Versuchs
-------------------	---

Grundannahmen Einsteins: Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Relativitätsprinzip	Erläuterung des weiteren Vorgehens: Aus den beiden Grundannahmen werden Folgerungen hergeleitet, die durch die Physik experimentell überprüft und bestätigt wurden.
--	---

zeitlich-räumliches Bezugssystem; Systemzeit	Zurückführung der Synchronisation von relativ zueinander ruhenden Uhren auf die Laufzeitmessung von Lichtsignalen (analog zur Entfernungsmessung)
---	---

Relativität der Gleichzeitigkeit; Beziehung zwischen Systemzeit und Anzeige einer im Bezugssystem bewegten Uhr; k-Faktor

Betrachtung von relativ zueinander bewegten Bezugssystemen; Veranschaulichung an Minkowski-Diagrammen; Zusammenhang zwischen Dopplerverschiebung und Relativgeschwindigkeit

Zeitdilatation;
Längenkontraktion

rechnerische Herleitung des Zeitdehnungsfaktors mit Hilfe des k-Faktors (6 M); Bestätigung der Zeitdilatation bzw. Längenkontraktion durch Myonenexperimente

Lorentz-Transformation;
Additionstheorem für Geschwindigkeiten

Herleitung der Gleichungen, Interpretation und graphische Veranschaulichung (6 M); Betrachtung der Galilei-Transformation als nichtrelativistischer Grenzfall

Die Folgerungen aus dem Relativitätsprinzip und der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit sollen in Zeit-Ort-Diagrammen (Minkowski-Diagrammen) mit nur einer Ortsachse mit Hilfe der Lichtsignalmethode gefunden werden.

3.2 Relativistische Dynamik (**)

(ca. 10 Std.)

Die Behandlung der relativistischen Massenveränderlichkeit und der Äquivalenz von Masse und Energie führt die Schüler zu Erkenntnissen, die seit ihrer Entdeckung als beispielhaft für die moderne Physik stehen. Sie sollen so die fundamentale Bedeutung von Erhaltungssätzen für die gesamte Physik einsehen und mit wichtigen Voraussetzungen für das Verständnis der Atom- und Kernphysik umgehen lernen (6 W).

relativistischer Impuls;
Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit

Besprechung der Versuche von Bucherer oder von Kaufmann; Herleitung der relativistischen Massenformel; Hinweis auf das Synchrotron

Äquivalenz von Masse und Energie; relativistische Impuls-Energie-Beziehung

Gewinnung von $E = mc^2$ aus der Änderung der Ruhemasse beim Stoß, Formulierung des umfassenden Masse-Energie-Erhaltungssatzes; Aufstellung der relativistischen Beziehung zwischen Impuls und Energie; Betrachtung der klassischen Grenzfälle; Hinweis auf die Bedeutung von Kollisionsexperimenten (vgl. Ph13; 6 MT)

4 Einführung in die Theorie der Wärme (*)

(ca. 30 Std.)

Falls dieser Themenbereich nicht mit allen Inhalten behandelt wird, können die mit (**) gekennzeichneten Inhalte auch an geeigneter Stelle in Jahrgangsstufe 13 besprochen werden; für die Durchnahme sind dann ca. 10 Std. eingeplant.

4.1 Die kinetische Deutung der Wärme

(ca. 16 Std.)

Die Kenntnisse über den Aufbau der Materie aus Atomen werden durch einfache Abschätzungen und durch Gewinnung quantitativer Aussagen über Größe und Anzahl von Molekülen einer gegebenen Stoffmenge erweitert und vertieft. Die Schüler erhalten einen Einblick, wie durch verfeinerte Methoden sehr kleine Dimensionen und sehr große Zahlen mit hoher Genauigkeit bestimmt werden können. Einfache Beobachtungen eröffnen den Zugang zum Modell des idealen Gases und zum Verständnis der kinetischen Deutung des Gasdrucks und der Temperatur. Die Schüler lernen, elementare statistische Betrachtungsweisen auf das Gasmodell anzuwenden und mit der statistischen Interpretation der Zustandsgleichung eines idealen Gases umzugehen (6 W).

historische Grundlagen der Atomvorstellung

Schüler- oder Lehrervortrag

Brownsche Bewegung

Beobachtung der Brownschen Bewegung und von Modellversuchen hierzu machen die Realität von Atomen bewußt.

Molekülgröße, Avogadro-Konstante (**)

Abschätzung der Molekülgröße und der Avogadro-Konstante mit dem Ölfleckversuch (6 C); Berechnung der Avogadro-Konstante aus Daten über den Kristallbau, Hinweis auf ihre Bestimmung mittels der Elementarladung oder mit Röntgenstrahlinterferenzen

Modell des einatomigen idealen Gases; Zusammenhang zwischen Gasdruck und mittlerer Teilchenenergie bei konstanter Temperatur

experimentelle Erfassung der Geschwindigkeitsverteilung und Herleitung des Zusammenhangs zwischen Druck und Teilchengeschwindigkeit in einem Modellgas aus den Annahmen über das ideale Gas

Zustandsgleichung des idealen Gases (**)

Wiederholung bzw. Einführung in der Form $pV = nRT = NkT$

Zusammenhang zwischen mittlerer Teilchenenergie und absoluter Temperatur (**)

$E_{kin} = 3/2 kT$ durch Vergleich des empirisch gefundenen Gasgesetzes mit dem Ergebnis der kinetischen Gastheorie; Besprechung von Versuchen mit der Lichtmühle und des Versuchs von Stern; Vergleich des idealen Gases mit dem Verhalten realer Gase

4.2 Die Hauptsätze der Wärmelehre

(ca. 14 Std.)

Mit dem ersten Hauptsatz der Wärmelehre erfahren die Schüler eine Vertiefung und Erweiterung des Prinzips von der Erhaltung der Energie. Der zweite Hauptsatz zeigt ihnen Grenzen bei der Umwandlung von Energie auf und macht die technische Bedeutung einer prinzipiell nicht vollständigen Energieumwandlung deutlich. Ein Ausblick auf thermische Umweltprobleme (6 U) soll den Schülern die Notwendigkeit zur Rückgewinnung "vergeudeter Energie" bewußtmachen (6 DW, FR).

- | | |
|---|--|
| 1. Hauptsatz der Wärmelehre: Unmöglichkeit des perpetuum mobile 1. Art; molare Wärmekapazitäten | Interpretation der Gleichung $^aU = Q+W$ anhand von Beispielen; Definition und Berechnung der molaren Wärmekapazitäten für das einatomige ideale Gas |
| 2. Hauptsatz der Wärmelehre: Unmöglichkeit des perpetuum mobile 2. Art; optimaler Wirkungsgrad einer Wärmeenergiemaschine | Analyse der Wirkungsweise von Wärmeenergiemaschinen (6 MT, U); Berechnung von Wirkungsgraden, insbesondere beim Stirlingprozeß (Heißluftmotor); reversible und irreversible Prozesse (6 B, C: Entropie); Energieentwertung |

Jahrgangsstufe 13

5 Einführung in die Atomphysik (ca. 55 Std.)

5.1 Grundlegende Elemente der Quantenphysik (ca. 30 Std.)

Die Schüler erleben erneut, wie das in sich geschlossene physikalische Weltbild zu Beginn des 20. Jahrhunderts (6 K12, Ev11, Eth 12) durch neue experimentelle Ergebnisse in Frage gestellt wurde (6 W). In den Experimenten zum Photo- und zum Compton-Effekt sowie zur Elektronenbeugung lernen die Schüler Phänomene kennen, die zur Erweiterung klassischer Theorien geführt haben. Sie sollen die Schwierigkeiten nachvollziehen können, die sich ergaben (6 G), als die klassischen Vorstellungen der Physik mit den neuen Erkenntnissen in Einklang gebracht werden mußten. Schnell bewegte Materie und elektromagnetische Strahlung stellen sich ihnen als der unmittelbaren Anschauung unzugängliche Objekte dar, für die je nach physikalischer Notwendigkeit verschiedene Modelle (6 W) verwendet werden.

lichtelektrischer Effekt	Durchführung von Versuchen; Verdeutlichen der Widersprüche zur Wellentheorie des Lichts
--------------------------	---

Zusammenhang zwischen Lichtfrequenz und kinetischer Energie der Photoelektronen; Austrittsarbeit, Grenzfrequenz; Plancksches Wirkungsquantum h	quantitative Auswertung des zugehörigen Experiments (z.B. Gegenfeldmethode); Interpretation des Ergebnisses (Einstein-Gleichung); h als Naturkonstante
--	--

Photon	Einführung des Photons als "Teilchen" der Ruhemasse null und der Energie hf (6 W); Herleitung des Impulses aus der relativistischen Energie-Impuls-Beziehung
--------	--

Compton-Effekt	Herleitung und Diskussion der Formel für die Wellenlängenänderung; Vergleich mit Meßergebnissen aus der Literatur; Hinweis, daß der Teilchenaspekt erst bei hohen Frequenzen deutlich wird
----------------	--

Teilchenstrahlinterferenz: Elektronenbeugung; de-Broglie-Wellenlänge; Unabhängigkeit der Elementarladung von der Geschwindigkeit	quantitativer Versuch mit der Elektronenbeugungsröhre; Analogieschluß auf die Welleneigenschaften bewegter Teilchen; Prinzip des Elektronenmikroskops (6 MT, W)
Wellen- und Teilchenaspekt von Licht und Materie; Grenzen der Anwendbarkeit klassischer Vorstellungen; statistische Deutung nach Born	Besprechung eines Gedankenexperiments zur Interferenz bei sehr geringer Beleuchtungsstärke; Mitteilung des Zusammenhangs zwischen der Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Teilchens und der zugehörigen de-Broglie- bzw. elektromagnetischen Welle; Diskussion des scheinbar unterschiedlichen Verhaltens von Makro- und Mikroobjekten (6 DS; 6 W)
Heisenbergsche Unschärferelation	Hinführung z.B. über das Interferenzbild eines Teilchenstrahls, der durch einen Doppelspalt tritt; Erläuterung an einfachen Beispielen

5.2 Physik der Atomhülle

(ca. 25 Std.)

Die historische Entwicklung der Modellvorstellung vom Atom (6 C, G) bildet den "roten Faden" durch diesen Unterrichtsabschnitt. Dabei sollen jeweils die Leistungen des gerade betrachteten Modells erkannt werden, aber auch seine Unzulänglichkeiten, welche die Erarbeitung eines neuen besseren Modells notwendig gemacht haben. Die quantenhafte Emission und Absorption von Energie und die Anwendung der Unschärferelation machen den Schülern verständlich, daß erst durch die völlige Aufgabe von klassischen Vorstellungen ein Atommodell ermöglicht wurde, mit dem nach heutiger Ansicht die physikalische Wirklichkeit (6 K12, Ev11, Eth12; 6 W) adäquat beschrieben werden kann.

Streuversuche von Rutherford und das zugehörige Atommodell; Ladung des Atomkerns	Hinweis auf das Atommodell von Thomson; Abschätzung des Kernradius über den zentralen Stoß
Franck-Hertz-Versuch	Aufnahme und Deutung des U - I -Diagramms; Gegenüberstellung von Atom und klassischem Oszillator bezüglich der Energieaufnahme
Emissions- und Absorptionsspektren, Resonanzfluoreszenz	Messung der Wellenlängen von Emissionslinien der Balmerreihe; Demonstration der Resonanzfluoreszenz bei Natrium; Vergleich zwischen Emissions- und Absorptionsspektrum (6 C), Beobachtung der Fraunhoferschen Linien und Aufzeigen ihrer Bedeutung (6 G; 6 W)
Atommodell von Bohr als historischer Zwischenschritt	Darlegen der Widersprüche zwischen Atommodell von Rutherford, klassischer Physik und Existenz von Linienspektren; Diskussion der Formel für die Energiestufen im H-Atom und Vergleich mit den spektroskopischen Befunden und der Ionisierungsenergie

Grenzen des Atommodells von Bohr	Aufzeigen des Widerspruchs zwischen dem Bohrschen Modell und der Unschärferelation (6 W)
Elemente des quantenmechanischen Modells des Wasserstoff-Atoms (Orbitalmodell)	Veranschaulichen des quantenmechanischen Atommodells durch stehende Wellen in ein, zwei und drei Dimensionen; Entwicklung der Vorstellung vom Elektron als dreidimensionale stehende Materiewelle (6C)
Energieniveaus für das Elektron im eindimensionalen Potentialtopf	Berechnung von Wellenlängen für das Elektron
Schalenaufbau der Atomhülle und Periodensystem der Elemente; Röntgenspektren	Beschreibung der charakteristischen Röntgenstrahlung; Deutung des Gesetzes von Moseley mit einer Schalenstruktur der Atomhülle; Bestätigung durch Darlegung des Verlaufs der Ionisierungsenergie und des Atomvolumens bei zunehmender Ordnungszahl (6 C)

Der Grundgedanke des Franck-Hertz-Versuchs (inelastische Streuung) und der Absorptionsexperimente sollte besonders betont werden: Man bietet einem System, hier dem Atom, verschiedene Energien an und beobachtet, welche Energien aufgenommen werden. Auf eine Herleitung der Energieformel aus den Bohrschen Postulaten soll verzichtet werden. Das quantenmechanische Modell des Wasserstoffatoms kann auch eindrucksvoll mit Hilfe eines Rechnerprogramms demonstriert werden.

6 Eigenschaften stabiler Kerne, Kernzerfall und Kernreaktionen

(ca. 36 Std.)

Die Schüler lernen die wichtigsten Eigenschaften der Atomkerne kennen. Sie erfahren, daß der Einschluß von Teilchen in ein begrenztes Raumgebiet auch beim Kern zur Ausbildung diskreter Energieniveaus führt. Sie sollen verstehen, daß das Auftreten dieser Energiestufen wie bei der Atomhülle durch inelastische Stoßanregung und Spektroskopie nachgewiesen wird. Sie lernen die wesentlichen Eigenschaften der radioaktiven Strahlung instabiler Kerne kennen und erfahren, welche Gefahren diese Strahlung in sich birgt und wie Strahlenschutzmaßnahmen sinnvoll zu treffen sind. Am Beispiel des radioaktiven Zerfalls erkennen die Schüler besonders deutlich, wie man in der Physik sowohl mit der induktiven als auch mit der deduktiven Methode neue Erkenntnisse gewinnt (6 W). Sie erkennen ferner, wie die statistische Deutung des Kernzerfalls ("Kerne altern nicht") zum Zerfallsgesetz führt und wie dieses Gesetz z.B. zur Altersbestimmung (6 B, C, G; 6 W) herangezogen werden kann. Sie erhalten einen Einblick in die Vielfalt von Kernreaktionen (6 CLK12).

Größe von Atomkernen, Protonen und Neutronen als Kernbausteine; Isotopie, Nuklidkarte	Mitteilung der Kerngröße und der Kernbausteine; Hinweis auf Beugungsversuche mit Teilchenstrahlen (Modellversuch: Beugung von Laserstrahlen an Bärlappsporen); Vergleich von Stärke und Reichweite der Kernkräfte mit der Coulomb-Kraft
---	---

Kernmassen;
Massendefekt, Bindungsenergien

Anwenden der Kenntnisse über das Verhalten geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern auf ein Verfahren zur Isotopentrennung und zur Bestimmung der Kernmassen in Massenspektrographen (6 C; 6 MT); Berechnung von Bindungsenergien mit der relativistischen Masse-Energie-Beziehung

Existenz diskreter Energiestufen im Kern, Übergang zwischen Energieniveaus bei α -Emission; Energieniveauschemata

Hinweis auf Versuche, bei denen mit inelastischer Teilchenstreuung analog zur Atomhülle auch im Kern diskrete Energieniveaus nachgewiesen werden können, sowie auf Linienspektren der α -Strahlung (Resonanzfluoreszenz am Kern); Hinweis auf das Tröpfchen- und das Potentialtopfmodell zur Erläuterung wesentlicher Kerneigenschaften

stabile und instabile Kerne;
 α -, β -, γ -Strahlung; Nachweis hochenergetischer Strahlung mit Ionisationskammer, Zählrohr und Nebelkammer; Verschiebungssätze, Zerfallsreihen

Nachweis der einzelnen Strahlenarten durch einfache Absorptionsversuche und durch das Verhalten im Magnetfeld; Experimente und qualitative Erklärungen zu den Nachweisgeräten (6 MT); Veranschaulichung an der Nuklidkarte (6 C) und durch Energieniveauschemata; Hinweise zur Zählstatistik (6 M)

Absorption radioaktiver Strahlung in Materie; quadratisches Abstandsgesetz

Durchführung von Experimenten zur mittleren Reichweite von α -Strahlung, zur Absorption von β - und γ -Strahlung und zum quadratischen Abstandsgesetz

biologische Strahlenwirkung;
Strahlenbelastung des Menschen, Energie- und Äquivalentdosis;
Strahlenschutzmaßnahmen

Darlegung von Strahlenwirkung und Strahlenschäden; Diskussion des Zusammenhangs von Dosis und Gesundheitsschäden (6 B); Überlegungen zur Minimierung des Strahlenrisikos, Verhaltensregeln nach der Strahlenschutzverordnung (6 GE, U, P)

Zerfallsgesetz, Halbwertszeit, Aktivität;
Gegenüberstellen von induktivem und deduktivem Vorgehen

induktive Erarbeitung des Zerfallsgesetzes aus dem Experiment; deduktive Erschließung der exponentiellen Abnahme (6 M12); Besprechung von Anwendungen in Medizin und Technik (6 GE, MT) sowie von Möglichkeiten der Altersbestimmung (6 B, G)

β^+ -Zerfall, K-Einfang;
Teilchen und Antiteilchen

Vergleich von β^- -, β^+ -Zerfall und K-Einfang; Veranschaulichung der Zerfälle an der Nuklidkarte, Hinweis auf die Stabilitätslinie; Hinweis auf Teilchen und Antiteilchen, Paarbildung und -vernichtung

Energiespektrum bei α - und β -Zerfall	Deutung des α -Zerfalls mit Hilfe des Tunnel-Effekts; Hinweis auf die Kontinuität des β -Spektrums, Verdeutlichung im Experiment; Erklärung mit dem Auftreten von Neutrinos (6 W)
einfache Kernreaktionen; freies Neutron	Beispiele für Kernumwandlungen; Aufstellen von Impuls- und Energie-Bilanzen; Ergänzen von Reaktionsgleichungen aufgrund von Erhaltungssätzen; Besprechung der Erzeugung, der Eigenschaften und der Abschirmung von Neutronen (6 MT)

Bei der Besprechung der verschiedenen Zerfallsarten und Kernreaktionen soll die zentrale Rolle der Erhaltungssätze für Energie, Impuls und Ladung jeweils deutlich herausgestellt werden.

7 Ausblick auf Kerntechnik und Elementarteilchenphysik (ca. 9 Std.)

Die Schüler erhalten einen Einblick in die Kernenergietechnik (6 CLk12). Auf der Grundlage der bisher erworbenen Kenntnisse über die Atomkerne soll in ihnen die Bereitschaft geweckt werden, sich bei Fragen zur Kernenergie ein eigenes, fachlich fundiertes Urteil zu bilden und es verantwortungsbewußt zu vertreten. Die Beschäftigung mit Fragestellungen, die mit modernen Großforschungsanlagen angegangen werden, soll den Schülern die Bedeutung und die Notwendigkeit einer zweckfreien Grundlagenforschung für die Gewinnung neuer Erkenntnisse bewußtmachen.

Grundlagen der Kernenergietechnik: Kernspaltung, Kernenergie; Entsorgung, Wiederaufbereitung; Kernfusion	Besprechen der wichtigsten Tatsachen zur Funktion, zum Aufbau und zum Betrieb von Kernreaktoren (6 U, P, FR); Veranschaulichung des aktuellen Standes der Fusionsforschung an Diagrammen (6 EU); Erläuterung der Energieumwandlung in Sternen (6 W)
Suche nach elementaren Bausteinen der Materie	Erläuterung der Gründe für die Suche der Physiker nach neuen Substrukturen (6 K12, Ev11, Eth12: Neugier und Verantwortung des Wissenschaftlers; 6 W); Besprechung des Aufbaus von Protonen und Neutronen aus Quarks und des experimentellen Nachweises von Quarks in Protonen; Hinweis auf die Suche nach einer vereinheitlichenden Beschreibung der Naturkräfte (6 W)

8 Experimentelles Praktikum (ca. 24 Std.)

Im experimentellen Praktikum können die Schüler bei der Bearbeitung und Lösung physikalischer Aufgabenstellungen ihr Wissen und ihre experimentellen Fähigkeiten unmittelbar festigen und erweitern. Sie lernen durch eigenes Tun beim Beobachten, Messen, Darstellen und Formulieren von Ergebnissen die wichtigsten Arbeitsmethoden der Physik vertieft kennen, z.B. das Erfassen und Verarbeiten von Meßwerten, die Verwendung von Logarithmenpapier (6 M10). Dabei soll die Einstellung, Geräte und

Materialien verantwortungsbewußt zu handhaben, gestärkt werden.

Die gemeinsame Arbeit bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten vermittelt den Schülern die Fähigkeit zur Teamarbeit, wie sie heute in Wissenschaft und Berufsleben gefordert wird. Die Nützlichkeit des Computers bei der Meßwerterfassung oder beim Berechnen physikalischer Modelle mit fertiger Software zeigt sich den Schülern besonders deutlich, wenn sie selbständig mit diesem Gerät umgehen und damit vertraut werden. Die Beschäftigung mit populärwissenschaftlichen Artikeln, mit Nachdrucken historischer Originalarbeiten oder auch mit fremdsprachigen Aufsätzen (6 mFS) zeigt den Schülern, wie in Wissenschaft und Beruf mit Fachliteratur (6 W) gearbeitet wird.

Die folgenden Praktikumsthemen haben Vorschlagscharakter. Je nach Ausstattung der Schule können auch andere Themen bearbeitet werden. Die Praktika können in arbeitsteiligen oder bei entsprechender Geräteausstattung auch in arbeitsgleichen Gruppen durchgeführt werden. Jeder Schüler soll insgesamt wenigstens sechs Versuche aus verschiedenen Gebieten bearbeiten.

Themen zu 1.1:

- Aufnahme der Entladungskurve eines Kondensators und Bestimmung der abgeflossenen Ladung (z.B. mit einem Computer-Meßwerterfassungssystem)
- Aufnahme von Äquipotentiallinien im elektrolytischen Trog
- Bestimmung der elektrischen Feldkonstante
- Bestimmung der Elementarladung im Millikan-Versuch, Auswertung mit einem Rechnerprogramm

Themen zu 1.2:

- Bestimmung der spezifischen Ladung von Elektronen im Fadenstrahlrohr
- Bestimmung magnetischer Felder mit der Hall-Sonde
- Bestimmung der Ladungsträgerdichte in einem Halbleiter
- Messung von Spannungsstößen mit einem Meßwerterfassungssystem
- Aufnahme von Ein- und Ausschaltvorgängen an Spulen und Kondensatoren
- Simulation der Bewegung geladener Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern (z.B. Geschwindigkeitsfilter, Rutherford-Streuung) mit dem Computer

Themen zu 2.1:

- Bestimmung von Wechselstromwiderständen, evtl. auch Parallel- und Serienresonanz
- Aufbau und Erprobung von Meißner- oder Dreipunkt-Schaltung
- Versuche mit gekoppelten Oszillatoren
- harmonische bzw. gedämpfte Schwingung: Realexperimente und Simulationen

Themen zu 2.2:

- Aufbau eines einfachen MW-Empfängers
- Experimente mit dem Dezimeterwellen-Sender
- Modulation und Demodulation elektromagnetischer Wellen
- Beugungs- und Interferenzversuche mit Wasser-, Schall-, Mikrowellen und mit Licht
- Versuche zur Polarisierung von Licht (6 C, B: Saccharimeter)
- Messung der Lichtgeschwindigkeit

Themen zu 3.1:

- Dopplereffekt mit Schall- und Mikrowellen

Themen zu 4.1:

- Abschätzung der Molekülgröße und der Avogadro-Konstante mit dem Ölfleckversuch
- Versuche mit dem Heißluftmotor
- Versuche mit einem Modellgas

Themen zu 5:

- Experimente zum lichtelektrischen Effekt, Bestimmung von h und der Austrittsarbeit
- Bestimmung der Wellenlänge von Elektronen mit der Elektronenbeugungsröhre

Themen zu 6:

- Bestimmung der Wellenlängen von Spektrallinien der Balmerreihe
- Umkehr der Natrium-D-Linie
- Aufnahme der Kennlinie beim Franck-Hertz-Versuch und Auswertung
- Betrachtung verschiedener Zustände des Elektrons in einer Simulation des quantenmechanischen Atommodells des Wasserstoffatoms