

# Lehrplan Physik

**Abiturstufe**

**Michaelis**

**Ministerrat  
der Deutschen  
Demokratischen  
Republik  
Ministerium  
für Volksbildung**



**Volk und Wissen  
Volkseigener Verlag  
Berlin**

**MINISTERRAT DER DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK  
MINISTERIUM FÜR VOLKSBIKDUNG**

---

**Lehrplan**

**Physik**

**Abiturstufe**



**VOLK UND WISSEN  
Volkseigener Verlag Berlin 1981**

**Der Lehrplan Physik tritt für die Klasse 11 am 1. September 1980 und für die Klasse 12 am 1. September 1981 in der Erweiterten Oberschule, in den Abiturklassen an Einrichtungen der Berufsausbildung und in den Abiturlehrgängen der Volkshochschule in Kraft.**

**Berlin, Mai 1978**

**Der Minister für Volksbildung  
M. Honecker**

**2. Auflage**

**Ausgabe 1980**

**Lizenz-Nr. 203 · 1000/80 (DN 02 30 17-2)**

**LSV 0645**

**Printed in the German Democratic Republic**

**Satz: Druckerei Schweriner Volkszeitung II-16-8**

**Druck: Nationales Druckhaus, Betrieb der VOB National**

**Bestell-Nr. 707 314 3**

**DDR 0,85 M**

# **Inhalt**

<b>Ziele und Aufgaben</b>	<b>5</b>
<b>Hinweise zur methodischen und organisatorischen Gestaltung des Unterrichts</b>	<b>7</b>
<b>Stoffübersicht</b>	<b>9</b>
Klasse 11	9
Klasse 12	9
<b>Inhalt des Unterrichts</b>	<b>10</b>
Klasse 11	10
1. Mechanik I	10
2. Thermodynamik	13
3. Optik	20
4. Praktikum	27
Klasse 12	29
1. Mechanik II	29
2. Elektrodynamik	34
3. Einige Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie	44
4. Kernenergie	46
5. Praktikum	47



## ZIELE UND AUFGABEN

Im Physikunterricht der Klassen 11 und 12 erweitern und vertiefen die Schüler ihr Wissen über grundlegende Begriffe, Gesetze, Theorien und Methoden der Physik.

Sie entwickeln ihre Fähigkeit weiter, mit elementaren Methoden und Verfahren der Physik zu arbeiten und bereiten sich dadurch auf künftige Anforderungen an die selbständige Auseinandersetzung mit Errungenschaften der Naturwissenschaft und Technik vor. Damit leistet der Physikunterricht einen wichtigen Beitrag zur polytechnischen Bildung und Erziehung.

Die Schüler vertiefen ihr Wissen über die Mechanik, die Thermodynamik, die Optik und die Elektrodynamik.

Zur Abrundung des Wissens erhalten die Schüler einen Einblick in einige Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie und der Kernphysik.

Die Schüler entwickeln ihre Fähigkeit weiter, physikalische Erscheinungen und Prozesse zu beobachten, zu beschreiben, wesentliche Merkmale dieser Vorgänge durch Verallgemeinerung zu erfassen sowie Einzelfakten auf Gesetze zurückzuführen.

Die Schüler wenden ihr bisher erworbenes Wissen und Können beim Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten an und sind in der Lage, Fehlerbetrachtungen durchzuführen.

Die Fähigkeit der Schüler, ihr mathematisches Wissen und Können zur quantitativen Formulierung von Gesetzen anzuwenden, ist weiter zu entwickeln. Sie müssen in der Lage sein, physikalische Gleichungen inhaltlich zu interpretieren.

Kompo-  
Ende

Die Schüler erlangen Sicherheit, Aufgaben mit Hilfe mathematisch-physikalischer Methoden zu lösen, mit Größengleichungen unter Verwendung unterschiedlicher Einheiten zu arbeiten, die einzelnen Schritte bei der Herleitung von Gleichungen zu begründen sowie Diagramme anzufertigen und auszuwerten.

Sie entwickeln ihre Fähigkeit weiter, sich neues Wissen unter Verwendung der Schulbücher und von Zusatzliteratur selbständig anzueignen und sich auf die Ausarbeitung von Vorträgen sowie auf die Durchführung von Praktikumsexperimenten vorzubereiten. Sie erwerben Fertigkeiten in der Arbeit mit Lehrbüchern, Tabellensammlungen, Nachschlagewerken, Wissensspeichern und dem Rechenstab.

Fähigkeiten

Der Physikunterricht fördert und entwickelt solche philosophisch-weltanschauliche, politische und moralische Überzeugungen, die es den Schülern ermöglichen, in die Gesetze der Natur und Gesellschaft besser einzudringen.

phil.-wiss  
Büchi

Willandh.  
phys. Gesetze  
Insbesondere bei der Aneignung von Wissen über stochastische Prozesse, über Welle-Teilchen-Eigenschaften von Mikroobjekten sowie über Umwandlungen bei Paarzerstrahlung und Kernreaktionen vertiefen die Schüler ihre Einsicht in die Materialität und Erkennbarkeit der Welt. Bei der Behandlung der Paarzerstrahlung, Kernspaltung und Kernfusion wird ihnen bewußt, daß sich die Erscheinungsform der Materie ändern kann, daß aber die Materie weder erschaffbar noch zerstörbar ist.

phys. Gesetze  
Im Zusammenhang mit der Behandlung der Stoffgebiete Thermodynamik und Optik ist die Einsicht zu verstärken, daß die statistischen Gesetze genauso wie die dynamischen Gesetze objektiv real existierende Sachverhalte widerspiegeln und Voraussagen und Erklärungen gestatten.

Erdeinpr  
d. Materie  
Bei der Aneignung von Wissen über Quanteneigenschaften des Lichtes erkennen die Schüler an einem weiteren Beispiel die Vielfalt der Erscheinungsformen der Materie. Sie verstehen, daß es nicht möglich ist, das Licht nur mit einem Modell umfassend zu beschreiben. Im Zusammenhang mit der Vermittlung einiger elementarer Erkenntnisse der Quantentheorie und der Relativitätstheorie erkennen die Schüler, daß die physikalische Forschung immer tiefere Einsichten in Naturvorgänge vermittelt und daß neu entwickelte Theorien ältere als Spezialfall in sich einschließen.

Fachlehrer  
→ Praxis  
Im Zusammenhang mit der Anwendung der Physik in Produktion, Technik und Landesverteidigung wird die Überzeugung der Schüler gefestigt, daß die Wissenschaft im Ergebnis ihrer bewußten Anwendung durch die Arbeiterklasse und alle anderen Werktätigen zur Steigerung der Arbeitsproduktivität, zur weiteren Verbesserung der materiellen und kulturellen Lebensbedingungen und zum zuverlässigen Schutz der sozialistischen Errungenschaften beiträgt.

EZ  
Bei der parteilichen Wertung der Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse ist unter Bezugnahme auf Wissen aus dem Staatsbürgerkundeunterricht die Überzeugung zu festigen, daß es im Wesen des Imperialismus begründet liegt, wissenschaftliche Erkenntnisse aus Profitgründen für anti-humane Ziele zu mißbrauchen.

Wissensstoff  
lex  
In der Abturstufe wird auf das Leben und das wissenschaftliche Werk von J. R. Mayer, J. P. Joule, H. v. Helmholtz, J. Franck, G. Hertz, O. Hahn, A. Einstein und J. W. Kurtschatow eingegangen.

Erziehungs  
Im Physikunterricht sind die Schüler zu Aktivität und Einsatzbereitschaft bei der Erfüllung von Aufgaben, zu Sauberkeit und Pünktlichkeit beim Anfertigen von Arbeiten, zum gewissenhaften, fleißigen und ehrlichen Arbeiten, zum sorgfältigen Umgang mit Experimentiergeräten und anderen Arbeitsmitteln, zum kollektiven Zusammenarbeiten sowie zur gegenseitigen Hilfe zu erziehen.

# HINWEISE ZUR METHODISCHEN UND ORGANISATORISCHEN GESTALTUNG DES UNTERRICHTS

Um ein sicheres und anwendbares Wissen und Können zu erreichen, müssen die grundlegenden Begriffe und Gesetze im Prozeß aktiver Auseinandersetzung mit dem Stoff gründlich und sorgfältig erarbeitet und zum Erklären und Voraussagen physikalischer Vorgänge sowie zum Erklären von Sachverhalten der Produktion und weiterer Bereiche des gesellschaftlichen Lebens genutzt werden. In Verbindung mit Wiederholungen und Übungen ist zu sichern, daß die Schüler über das grundlegende Wissen und Können frei verfügen.

V Th - P  
W u

Bei der Schaffung von Problemsituationen, bei der Motivierung und der Zielorientierung, beim Neuerwerb von Wissen, bei Systematisierungen sowie bei der Auswahl der Inhalte physikalischer Aufgaben sind außer den im Lehrplan ausgewiesenen Anwendungen auch die praktischen Erfahrungen der Schüler vor allem aus der produktiven Arbeit und der wissenschaftlich-praktischen Arbeit zu berücksichtigen.

Prozessierung  
PA  
wpA

Entsprechend dem Prinzip der Einheit von Wissenschaftlichkeit, Parteilichkeit und Lebensverbundenheit muß den Schülern Gelegenheit gegeben werden, sich mit weltanschaulichen, politischen und moralischen Fragen auseinanderzusetzen, die aus dem obligatorischen und fakultativen Physikunterricht, aus der wissenschaftlich-praktischen Arbeit und weiteren Erfahrungsbereichen erwachsen. Die theoretischen Kenntnisse sind auf Probleme der Praxis anzuwenden und dadurch dauerhaft und disponibel zu gestalten.

W  
P  
L

Um die schöpferische Tätigkeit der Schüler beim Experimentieren zu fördern, ist zu sichern, daß die Schüler das Gewinnen praktisch prüfbarer Aussagen, das Entwickeln von Experimentieranordnungen und das Auswerten von Experimenten selbständig durchführen. Bei der Planung des Unterrichts ist zu gewährleisten, daß die notwendige Zeit für solche Tätigkeiten vorhanden ist. Auch die Demonstrationsexperimente sind so einzusetzen, daß die Schüler am Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten beteiligt werden. Die Möglichkeiten, mit Hilfe des Experimentierens die Schüler zum gewissenhaften, genauen, sorgfältigen und planmäßigen Arbeiten zu erziehen, sind zu nutzen. Beim Experimentieren sollen die Schüler erkennen, daß Experimente auch der Überprüfung von Aussagen auf ihre Wahrheit dienen. Es sind Bedingungen zu schaffen, zugleich mit der experimentellen Arbeit in Schülergruppen die Schüler zur kollektiven Arbeit zu befähigen.

Exp. M.

Beim Experimentieren ist von Beginn der Klasse 11 an ständig auf Fragen der Meßunsicherheit einzugehen. Für eine Zusammenfassung der im Laufe des Unterrichts erarbeiteten Begriffe und Regeln bei Fehlerbetrachtungen ist in der Klasse 11 eine Unterrichtsstunde vorgesehen. Diese Stunde ist dem Praktikum zugeordnet. Dort ist auch der entsprechende Stoff ausgewiesen. Wenn das Praktikum frühzeitig beginnt, ist es günstig, diese

Forderungen  
exp.  
Fähigkeit

**Stunde als Einführung in das Praktikum zu gestalten. Anderenfalls fügt der Lehrer die Stunde an geeigneter Stelle in den laufenden Unterricht ein.**

Ans B S

**Bei der Vorbereitung und Durchführung experimenteller Aufgaben sind die Bestimmungen des Arbeits- und Brandschutzes<sup>1)</sup> unbedingt einzuhalten.**

Die verbindlichen Demonstrations- und Schülerexperimente sind im Stoffteil ausgewiesen. Darüber hinaus sind vom Lehrer weitere Unterrichtsmittel im Unterricht einzusetzen. Es ist darauf zu achten, daß Experimente und Unterrichtsmittel nicht nur bei der Einführung in den neuen Stoff oder bei der Arbeit am neuen Stoff, sondern auch bei der Festigung und Kontrolle eingesetzt werden.

51

**Beim Arbeiten mit physikalischen Größen sind die gesetzlichen Bestimmungen zum Gebrauch von Einheiten einzuhalten.**

Die Reihenfolge der Stoffgebiete und die für die Stoffgebiete angegebenen Stunden sind verbindlich. Die Stundenzahlen für die Stoffeinheiten und -abschnitte sind Richtzahlen für den Lehrer.

genügend  
T.

**Wesentliche, von den Schülern auszuführende geistige und geistig-praktische Tätigkeiten sind im Lehrplan durch Einrücken gekennzeichnet.**

Im Lehrplan ist die notwendige Zeit für Wiederholungen aus dem Physikunterricht der Klassen 6 bis 10 und für Leistungskontrollen vorgesehen. Die Art der Wiederholung der in den Stoffteilen ausgewiesenen „Grundlagen aus den Klassen 6 bis 10“ liegt im Ermessen des Physiklehrers. In den Fällen, in denen eine geschlossene Wiederholung zweckmäßig ist, wird das im Stoffteil an entsprechenden Stellen durch eine Klammerbemerkung ausgewiesen.

<sup>1)</sup> Richtlinie für den Arbeits- und Brandschutz im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der außerunterrichtlichen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften vom 25. Mai 1967 (Verfügungen und Mitteilungen des Ministeriums für Volksbildung und des Staatlichen Amtes für Berufsausbildung 1967, Nr. 13 vom 20. Juni 1967)



# STOFFÜBERSICHT

<b>Klasse 11</b>	<b>90 Stunden</b>
1. <i>Mechanik I</i>	<b>17 Stunden</b>
1.1. Arbeit, Energie und Energieerhaltungssatz	7 Stunden
1.2. Kraftstoß, Impuls und Impulserhaltungssatz	4 Stunden
1.3. Stoßvorgänge – Anwenden von Erhaltungssätzen	6 Stunden
2. <i>Thermodynamik</i>	<b>32 Stunden</b>
2.1. Kinetisch-statistische Betrachtungen	12 Stunden
2.2. Phänomenologische Thermodynamik	20 Stunden
2.2.1. Erster Hauptsatz der Thermodynamik	(9 Stunden)
2.2.2. Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik	(2 Stunden)
2.2.3. Thermodynamisches Verhalten der Stoffe	(9 Stunden)
3. <i>Optik</i>	<b>30 Stunden</b>
3.1. Strahlenoptik	9 Stunden
3.2. Welleneigenschaften des Lichtes	7 Stunden
3.3. Quanten hafte Absorption des Lichtes	5 Stunden
3.4. Quanten hafte Emission des Lichtes	7 Stunden
3.5. Welle-Teilchen-Eigenschaften bei Mikroobjekten	2 Stunden
4. <i>Praktikum</i>	<b>11 Stunden</b>
<b>Klasse 12</b>	<b>78 Stunden</b>
1. <i>Mechanik II</i>	<b>18 Stunden</b>
1.1. Kinematik von Translation und Rotation	9 Stunden
1.2. Dynamik von Translation und Rotation	9 Stunden
2. <i>Elektrodynamik</i>	<b>40 Stunden</b>
2.1. Elektrostatische, magnetostatische und elektromagnetische Felder	19 Stunden
2.1.1. Elektrostatisches Feld	(3 Stunden)
2.1.2. Magnetostatisches Feld	(6 Stunden)
2.1.3. Elektromagnetisches Feld	(10 Stunden)
2.2. Elektrische Leitungsvorgänge	21 Stunden
2.2.1. Leitungsvorgänge im zeitlich konstanten elektrischen Feld	(5 Stunden)
2.2.2. Leitungsvorgänge im elektrischen Wechselfeld	(6 Stunden)
2.2.3. Bauelemente mit speziellen I-U-Kennlinien	(4 Stunden)
2.2.4. Steuerbare elektronische Bauelemente	(4 Stunden)
2.2.5. Anwendungen	(2 Stunden)
3. <i>Einige Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie</i>	<b>6 Stunden</b>
4. <i>Kernenergie</i>	<b>6 Stunden</b>
5. <i>Praktikum</i>	<b>8 Stunden</b>

# INHALT DES UNTERRICHTS

Klasse 11

90 Stunden

## 1. Mechanik I

17 Stunden

Die Behandlung des Stoffgebietes Mechanik I baut auf dem entsprechenden Wissen und Können der Schüler aus der Klasse 9 auf. Die dort behandelten Begriffe und Gesetze der Kinematik und der Dynamik werden gefestigt, außerdem wird die Größe Impuls eingeführt. Neue Einsichten gegenüber Klasse 9 gewinnen die Schüler dadurch, daß sie bei der Untersuchung von Vorgängen und Erscheinungen in der Mechanik zwischen Prozeß- und Zustandsgrößen unterscheiden und den Energieerhaltungssatz der Mechanik sowie den Impulserhaltungssatz beim Lösen physikalischer und technischer Problemstellungen anwenden.

In diesem Stoffgebiet sollen grundlegende Voraussetzungen für das Verständnis aller nachfolgenden Stoffgebiete, insbesondere für die Stoffgebiete Thermodynamik und Optik, geschaffen werden. So werden zum Beispiel im Stoffgebiet Thermodynamik die Energiebetrachtungen im Zusammenhang mit dem ersten und zweiten Hauptsatz weitergeführt und der Impulsbegriff für kinetisch-statistische Betrachtungen genutzt.

*Begriffe*  
In der ersten Stoffeinheit werden die Begriffe Arbeit, potentielle Energie und kinetische Energie gegenüber den Betrachtungen in Klasse 9 weiter präzisiert. Dabei ist den Schülern die Notwendigkeit der Unterscheidung von Prozeß- und Zustandsgrößen zu verdeutlichen.

*Wille  
Kl. 9*  
Zur Vorbereitung werden grundlegende Begriffe und Gesetze der Kinematik und Dynamik sowie der Energieerhaltungssatz der Mechanik aus der Klasse 9 wiederholt und die Kraft als Wechselwirkungsgröße zwischen mindestens zwei Objekten gekennzeichnet. Hierbei erfolgt eine Beschränkung auf die Wechselwirkung Körper - Körper.

*E ↔ W*  
Die Beziehungen zwischen Arbeit und Energie werden durch die Behandlung von Beispielen für die Energieübertragung zwischen Systemen in Natur und Technik konkretisiert.

Gestützt auf die Kenntnis des Energieerhaltungssatzes der Mechanik sollen die Schüler erkennen, daß sich die mechanische Energie eines mechanischen Systems nur bei Wechselwirkung mit seiner Umgebung ändern kann, und daß mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes weitere Gesetze hergeleitet werden können.

In der zweiten Stoffeinheit werden ausgehend vom Newtonschen Grundgesetz  $F = m \cdot a$  der Kraftstoß als Prozeßgröße und der Impuls als Zustandsgröße eingeführt und charakterisiert. Zur Veranschaulichung des

Gesamtimpulses als vektorielle Erhaltungsgröße wird die Zusammensetzung der Impulse zum Gesamtimpuls grafisch dargestellt.

In der dritten Stoffeinheit wird die Anwendung des Energieerhaltungssatzes der Mechanik und des Impulserhaltungssatzes bei der Behandlung von Stoßvorgängen diskutiert. Beim Aufstellen der Gleichung zur Berechnung der Geschwindigkeit des Körpers nach einem unelastischen, geraden, zentralen Stoß ist herauszuarbeiten, daß hierbei der Energieerhaltungssatz der Mechanik nicht anwendbar ist, jedoch der Impulserhaltungssatz volle Gültigkeit behält. Die Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit einer Gewehrkugel erfolgt auf der Grundlage der entsprechenden Abbildung im Lehrbuch.

Bei der Erarbeitung der Gleichungen zur Berechnung der Geschwindigkeiten  $u_1$  und  $u_2$  der Körper nach dem elastischen, geraden, zentralen Stoß finden beide Erhaltungssätze Anwendung. Der Ansatz zur Herleitung der Gleichungen ist zu erarbeiten. Das Auflösen nach den Größen  $u_1$  und  $u_2$  ist nicht durchzuführen, die Gleichungen für  $u_1$  und  $u_2$  sind zu geben.

Als Beispiel für den elastischen Stoß ist besonders auf den Stoß einer Kugel gegen eine Wand einzugehen, um damit für die Thermodynamik die Herleitung des Grundgesetzes der kinetischen Gastheorie vorzubereiten.

Im Zusammenhang mit dem Werten der Einsatzmöglichkeiten von Raketen ist die Überzeugung der Schüler von der Notwendigkeit des zuverlässigen Schutzes der sozialistischen Staatengemeinschaft zu festigen.

### 1.1. Arbeit, Energie und Energieerhaltungssatz

7 Stunden

Grundlagen aus den Klassen 7 und 9:

Geschwindigkeit und Beschleunigung; potentielle und kinetische Energie, Energieerhaltungssatz der Mechanik; Newtonsches Grundgesetz; Gravitationsgesetz; Reibungskraft

Grundbegriffe der Kinematik; Kraft als Wechselwirkungsgröße, statische Gleichgewichtsbedingung, Newtonsches Grundgesetz; Formen mechanischer Arbeit; Hubarbeit, Beschleunigungsarbeit und Reibungsarbeit als Beispiele; Formen mechanischer Energie: potentielle und kinetische Energie; Energieerhaltungssatz der Mechanik  $E_{kin} + E_{pot} = konst.$  (Wiederholung Kl. 9)

Wiederholen und Systematisieren der Grundlagen aus den Klassen 7 und 9; Lösen entsprechender Aufgaben

Abgrenzung eines mechanischen Systems von der Umgebung und seine Wechselwirkung mit der Umgebung; Präzisierung der Begriffe Arbeit und Energie; Arbeit als Prozeßgröße zur Erfassung der Energieübertragung, Energie als Zustandsgröße zur Erfassung des momentanen Arbeitsvermögens eines Systems

$$\Delta (E_{kin} + E_{pot}) = W$$

Systematisierung des Arbeitsbegriffes: Arbeit bei konstanter Kraft in Richtung der Bewegung und unter verschiedenen Winkeln dazu sowie Arbeit bei veränderlicher Kraft in Richtung der Bewegung

Berechnung der Arbeit bei konstanten Kräften; Bestimmung der Arbeit bei veränderlichen Kräften durch Auszählen der Fläche im  $F$ - $s$ -Diagramm

Bestimmen der Arbeit in unterschiedlichen Fällen

Begriffsmerkmale der potentiellen Energie, Möglichkeiten der Berechnung der potentiellen Energie eines Körpers im Gravitationsfeld und einer gespannten Schraubenfeder

Tu Erläutern von Beispielen, in denen potentielle Energie auftritt (z. B. Uhrwerk, Ramme, Staubecken)

Aufstellen von Energiebilanzen und Lösen von Aufgaben zur Bestimmung von Größen, die an der Energiebilanz beteiligt sind

Herleiten von Gesetzen aus dem Energieerhaltungssatz der Mechanik (z. B. Fallgeschwindigkeit, Steighöhe)

## 12. Kraftstoß, Impuls und Impulserhaltungssatz

4 Stunden

Grundlagen aus der Klasse 9:

Tu Newtonsches Grundgesetz

Kraftstoß  $\vec{S}$  als Prozeßgröße:  $\vec{S} = \vec{F} \cdot \Delta t$ , Impuls  $\vec{p}$  als Zustandsgröße:  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$ , Impulsänderung:  $\Delta \vec{p} = \Delta (m \cdot \vec{v})$ , Zusammenhang zwischen Impulsänderung und Kraftstoß:  $\Delta \vec{p} = \vec{S}$

Berechnen der Schubkraft einer Rakete (Vernachlässigung der Drücke und der Fläche der Düsenöffnung)

Werten ziviler und militärischer Einsatzmöglichkeiten von Raketen unter Beachtung der gesellschaftlichen Verhältnisse

Gesamtimpuls als vektorielle Größe; Impulserhaltungssatz für ein System aus zwei Körpern ohne äußere Kräfte:

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_1 \cdot \vec{u}_1 + m_2 \cdot \vec{u}_2$$

Anwendung des Impulserhaltungssatzes auf ein System aus zwei Körpern, die sich auf einer gemeinsamen Geraden bewegen:

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

Rückstoß bei Feuerwaffen

SV Erklären des Rückstoßes bei Handfeuerwaffen und beim Geschütz mit Hilfe des Impulserhaltungssatzes

**Demonstrationsexperimente:**

Experimente zur quantitativen Bestätigung des Impulserhaltungssatzes (zwei Wagen mit gleicher Masse und zwei Wagen mit unterschiedlicher Masse)



### 1.3. Stoßvorgänge — Anwendung von Erhaltungssätzen

6 Stunden

Grundlagen aus der Klasse 9:

Energieerhaltungssatz der Mechanik

TU

Unelastischer, gerader, zentraler Stoß; Gültigkeit des Impulserhaltungssatzes und Nichtanwendbarkeit des Energieerhaltungssatzes der Mechanik; Geschwindigkeit wechselwirkender Körper nach dem Stoß

Lösen von Anwendungsaufgaben mit Hilfe der Gleichung für den unelastischen, geraden, zentralen Stoß (Beispiele aus dem Verkehrswesen und der Raumfahrt)

Bestimmen der Anfangsgeschwindigkeit einer Gewehrkugel

kin DE!  
AS

Elastischer, gerader, zentraler Stoß; Gültigkeit des Impulserhaltungssatzes und des Energieerhaltungssatzes der Mechanik; Geschwindigkeit der Körper nach dem elastischen, zentralen Stoß

Berechnen von Geschwindigkeiten nach dem elastischen, geraden, zentralen Stoß für die Fälle  $m_1$  und  $m_2$  variabel,  $v_1 \neq 0$ ;  $v_2 = 0$

Berechnen der Impulsänderung beziehungsweise des Kraftstoßes einer Kugel ( $m_1$ ;  $v_1 \neq 0$ ) bei voll-elastischer Wechselwirkung mit einer Wand ( $m_2 \gg m_1$ ;  $v_2 = 0$ )

**Demonstrationsexperimente:**

Experimente zum elastischen und unelastischen Stoß mit dem Stoßpendel

## 2. Thermodynamik

32 Stunden

Im Stoffgebiet Thermodynamik wird das von den Schülern in den Klassen 6 und 8 erworbene Wissen und Können aus der Wärmelehre vertieft und erweitert. Die phänomenologische und die kinetisch-statistische Betrachtungsweise werden eingeführt und auf einfache Beispiele für thermodynamische Systeme angewandt. Hierbei erkennen die Schüler, daß Eigenschaften und Verhalten thermodynamischer Systeme sowohl mit Hilfe des Modells vom Aufbau der Stoffe aus Teilchen als auch mit der phänomenologischen Betrachtungsweise erfaßt werden können.

Betrachte  
una

Zu Beginn der ersten Stoffeinheit steht die allgemeine Kennzeichnung der Betrachtungsweisen in der Thermodynamik im Vordergrund, da im folgenden Stoff diese Betrachtungsweisen bei der Behandlung thermodynamischer Systeme angewandt und näher charakterisiert werden. In diesem Zusammenhang sind wesentliche Merkmale thermodynamischer Systeme und ihre Zustände in einfacher Form zu erläutern. Die im Stoffgebiet Mechanik I begonnene Unterscheidung zwischen Zustands- und Prozeßgrößen ist in der Thermodynamik fortzusetzen.

Mit den kinetisch-statistischen Betrachtungen soll erreicht werden, daß die Schüler in enger Verbindung mit der phänomenologischen Betrachtung

tungsweise ein tieferes Verständnis für Begriffe und Gesetze der Thermodynamik erlangen.

Sie erfahren, wie Gesetze der phänomenologischen Thermodynamik durch kinetisch-statistische Betrachtungen hergeleitet werden können.

DE Die Begriffe absolute und relative Häufigkeit sowie Wahrscheinlichkeit sind anhand der Demonstrationsexperimente zur ungeordneten Bewegung und räumlichen Anordnung von Teilchen eines Modellgases in einfacher Form anschaulich zu erarbeiten.

Die Herleitung der Grundgleichung der kinetischen Gastheorie gehört nicht zum reproduzierbaren Wissen und Können der Schüler. Sie müssen jedoch in der Lage sein, die Grundgleichung zu interpretieren. Das Wissen der Schüler über den Gleichverteilungszustand und die Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases ist dabei einzubeziehen.

Druck und Temperatur werden als Beispiele für statistische Größen behandelt. Die Schüler sollen erkennen, daß diese Größen nur für Systeme mit einer genügend großen Teilchenanzahl definiert sind und für einzelne Teilchen keinen physikalischen Sinn haben. Sie lassen sich deshalb auch als phänomenologische Größen verstehen.

dyn. stat. Ges. In diesem Zusammenhang ist der Charakter dynamischer und statistischer Gesetze herauszuarbeiten.

WV In der zweiten Stoffeinheit wird zur Vorbereitung auf die Arbeit mit dem ersten Hauptsatz der Begriff Volumenarbeit eingeführt, der Begriff Wärme wird vertieft. Dabei bildet die Erkenntnis der Schüler einen Schwerpunkt, daß sich in thermodynamischen Systemen Änderungen der inneren Energie vollziehen, indem das System an seiner Systemgrenze mit der Umgebung in Wechselwirkung tritt. Die Übersicht über Formen der Energieübertragung an der Systemgrenze ist durch Hinweise auf stoffgebundene Energie und Strahlungsenergie zu vervollständigen, wobei das entsprechende Wissen aus der Klasse 6 zu berücksichtigen ist. Insgesamt sind die Zusammenhänge zwischen phänomenologischer und kinetisch-statistischer Betrachtungsweise immer wieder herauszuarbeiten.

TU<sub>6</sub> Der den Schülern aus der Klasse 8 bekannte erste Hauptsatz wird wiederholt und zum Aufstellen von Energiebilanzen bei technischen Anwendungsbeispielen angewandt. Dabei ist für die vom System abgegebene Energie das negative, für die dem System zugeführte Energie das positive Vorzeichen festzulegen. Den Schülern ist bewußt zu machen, daß mit dieser formalen Vorzeichenfestlegung bei Energiebilanzen mit Hilfe des ersten Hauptsatzes auch die Richtung der Energieübertragung erfaßt wird.

Vorzeichen festl. TU<sub>8</sub> Die Einbeziehung der kalorischen Gleichungen in die Energiebilanzen dient der Wiederholung und Erweiterung des entsprechenden Wissens aus Klasse 8. Hierbei sind die Schüler auf den Gültigkeitsbereich kalorischer Gleichungen hinzuweisen. Die Schülerexperimente zur Bestimmung der Wärmekapazität eines Kalorimeters und zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität eines festen Metallkörpers sind so zu gestalten, daß die Schüler die Experimente weitgehend selbständig planen, durchführen und auswerten können.

Die Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile erster Art ist als experimentelle Erfahrung herauszuarbeiten, die der quantitativen Formulierung des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik vorausging. Bei den Schülern ist die Überzeugung zu festigen, daß der Energieerhaltungssatz objektive Zusammenhänge widerspiegelt. Die wissenschaftlichen Arbeiten von J. R. Mayer, J. P. Joule und H. v. Helmholtz zum Energieerhaltungssatz sind zu würdigen.

SV

Mayer  
Joule  
Helmholtz

Im Zusammenhang mit den Begriffen reversibler und irreversibler Vorgang wird der zweite Hauptsatz der Thermodynamik erarbeitet und qualitativ formuliert. Wissen der Schüler aus der Stoffeinheit „Kinetisch-statistische Betrachtungen“ ist dabei einzubeziehen. Die Schüler sollen Aussagen über die Richtung thermodynamischer Prozesse treffen und erkennen, daß ein sich selbst überlassenes thermodynamisches System immer einem Gleichgewichtszustand zustrebt. Zum Wissen der Schüler gehören auch Kenntnisse über den erreichbaren Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Energieformen.

7th

Bei der Behandlung des zweiten Hauptsatzes sind die Schüler darauf hinzuweisen, daß dieser im kosmischen Bereich nicht anwendbar ist. Bei der Erarbeitung des thermodynamischen Verhaltens der Körper und der stoffspezifischen Eigenschaften dieser Körper stehen phänomenologische Betrachtungen im Vordergrund.

Asko

Zur Deutung des thermodynamischen Verhaltens der Körper (Aggregatzustandsänderungen, Längen- und Volumenänderungen) ist die Modellvorstellung über den Aufbau der Stoffe aus Teilchen heranzuziehen.

Modell

Die Gleichungen für spezielle reversible Zustandsänderungen des idealen Gases werden aus der allgemeinen Zustandsgleichung durch deduktives Schließen gewonnen.

Das Können der Schüler im Auswerten von p-V-Diagrammen ist zu entwickeln. Das bei der Auswertung erworbene Wissen wenden die Schüler auf den geschlossenen Gasturbinenprozeß an. Sie erläutern unter physikalischem und ökonomischem Aspekt den thermischen Wirkungsgrad, seine Begrenzung und Möglichkeiten seiner Erhöhung.

Diagr.  
Anw.

Abschließend werden die Schüler mit einzelnen Stufen der Energieumwandlung beim Kraftwerksprozeß bekannt gemacht. Sie erfahren auch, wie die durch Abwärme hervorgerufene Umweltbelastung in zulässigen Grenzen gehalten werden kann.

Umwelt

**2.1. Kinetisch-statistische Betrachtungen 12 Stunden**

Grundlagen aus den Klassen 6 und 8:

- Teilchenstruktur der Stoffe; Modell und Zustandsgleichung des idealen Gases (Informationswissen aus Klasse 8); mittlere kinetische Energie, innere Energie und Temperatur (absoluter Nullpunkt); Diffusionsgeschwindigkeit

Thermodynamisches System als Untersuchungsgegenstand der Thermodynamik; einfache Beispiele für Systeme, Systemgrenze und Umgebung

Zustand eines thermodynamischen Systems; Beschreibung des Zustandes durch Druck  $p$ , Volumen  $V$  und Temperatur  $T$ ; Wechselwirkung des Systems mit der Umgebung

Allgemeine Kennzeichnung der phänomenologischen und kinetisch-statistischen Betrachtungsweise in der Thermodynamik

Vergleichen von phänomenologischer und kinetisch-statistischer Betrachtungsweise

Modell des idealen Gases: Grundannahmen zum Modell, Notwendigkeit statistischer Betrachtungen

Erläutern des zufälligen Charakters von Aufenthaltsort und kinetischer Energie einzelner Teilchen des idealen Gases

Begründen der Notwendigkeit statistischer Betrachtungen

Diskrete Zuordnung der Teilchen des idealen Gases zu einzelnen Raumbereichen: Anordnung der Teilchen zu einem Zeitpunkt als zufälliges Ereignis, absolute und relative Häufigkeit momentaner Anordnungen bezogen auf zwei Raumbereiche, Wahrscheinlichkeit von Anordnungen in diesen Raumbereichen, Gleichverteilung als wahrscheinlichste Anordnung

Ermitteln der relativen Häufigkeit von Anordnungen und der Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens für vier Teilchen sowie Zeichen und Diskutieren von Häufigkeitsverteilungen

Übergang der Teilchen des idealen Gases in den Zustand der Gleichverteilung als irreversibler Prozeß

Erklären der Diffusion von Gasen durch eine poröse Trennwand sowie Beschreiben weiterer Beispiele für irreversible Prozesse

Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases; kinetische Energie eines einzelnen Teilchen zu einem Zeitpunkt als zufälliges Ereignis; Energieverteilungskurve; mittlere kinetische Energie  $E_{kin}$ ; Energieverteilung und Geschwindigkeitsverteilung für die Teilchen des idealen Gases (qualitativ)

Innere Energie aus kinetisch-statistischer Sicht  $U = N \cdot E_{kin}$

Brownsche Bewegung als Beispiel für statistische Schwankungserscheinungen

Erklären der Brownschen Bewegung

Diskutieren einer Energieverteilungskurve

Erläutern des Zusammenhangs zwischen Energieverteilung der Teilchen des idealen Gases und deren Geschwindigkeitsverteilung

Druck des idealen Gases; Gasdruck als statistische Größe (qualitativ); kinetisch-statistische Annahmen zur Herleitung der Gleichung:

$$p \cdot V = \frac{2}{3} N \cdot E_{kin} \quad (\text{Grundgleichung der kinetischen Gastheorie})$$

Zusammenhang zwischen mittlerer kinetischer Energie und Temperatur, Energieverteilungskurve und Temperatur, Temperatur als statistische Größe (qualitativ)



**Gültigkeitsbereich** der Grundgleichung der kinetischen Gastheorie aus statistischer Sicht

**Objektiver Charakter** dynamischer und statistischer Gesetze

Interpretieren der Gleichung  $p \cdot V = \frac{2}{3} N \cdot E_{kin}$

Herleiten und Interpretieren der Beziehung zwischen mittlerer kinetischer Energie und Temperatur

Erklären des Vorganges Verdunsten aus kinetisch-statistischer Sicht

Herleiten und Interpretieren der Beziehung zwischen mittlerer Geschwindigkeit der Moleküle, Druck und Dichte eines Gases

Lösen von Aufgaben zur Grundgleichung der kinetischen Gastheorie

Suffi

**Demonstrationsexperimente:**

Demonstration der ständigen, ungeordneten Bewegung von Teilchen eines Modellgases

Demonstration der zufälligen Anordnung von vier Teilchen eines Modellgases

Brownsche Bewegung im Modell- und Realexperiment

Diffusion von Gasen durch eine poröse Trennwand

Modellexperiment zur Energieverteilungskurve eines Gases

Modellexperiment zur Bestätigung des Gesetzes:  $p \cdot V = \text{konstant}$

**3.3. Phänomenologische Thermodynamik**

20 Stunden

**3.3.1. Erster Hauptsatz der Thermodynamik**

(9 Stunden)

Grundlagen aus der Klasse 8:

Wärmemenge  $W_w$ ; erster Hauptsatz, Anwenden des ersten Hauptsatzes auf den Viertakt-Diesel-Motor; Energietransport durch Wärmeleitung, Wärmeströmung und Wärmestrahlung

Grundgleichung  $W_w = c \cdot m \cdot \Delta \theta$

spezifische Wärme fester und flüssiger Körper; Gesetz des Wärmeaustausches

Tü  
Tü<sub>g</sub> SV

Innere Energie als Zustandsgröße des Systems

Änderung der inneren Energie durch Wechselwirkung des Systems mit der Umgebung:

Änderung der inneren Energie durch makrophysikalische Bewegung der Systemgrenze (Zylinder und Kolben eines Verbrennungsmotors als Beispiel), Volumenarbeit als Form der mechanischen Arbeit, Arbeit  $W$  als Prozeßgröße

Bestimmung der Arbeit bei der Volumenänderung eines Gases

Zeichnen des  $p$ - $V$ -Diagramms für Luft und Ermitteln der Volumenarbeit aus der Summe der Teilarbeiten

$p$ - $V$  D

Änderung der inneren Energie durch mikrophysikalische Prozesse an der Systemgrenze (Kessel einer Warmwasserheizungsanlage als Beispiel), Wärme  $Q$  als Prozessgröße

Notwendigkeit einer Temperaturdifferenz zwischen System und Umgebung bei der Übertragung von Wärme (Wiederholung Kl. 8)

Hinweis auf Energieübertragungen durch stoffgebundene Energie und durch Strahlung (Wiederholung Kl. 6), Beispiele: Heizungsanlage, Wärmestrahler

Beschreiben weiterer einfacher Beispiele für energetische Wechselwirkungen thermodynamischer Systeme mit der Umgebung (zum Beispiel Explosionsramme, Wärmeübertrager, Dampfturbine)

Energiebilanz für Systeme, über deren Grenze keine stoffgebundene Energie und keine Strahlung übertragen werden

Erster Hauptsatz der Thermodynamik:  $\Delta U = Q + W$ ,  $\Delta U = U_e - U_a$   
Vorzeichenfestlegung für die Richtung der Energieübertragung an der Systemgrenze

Fallunterscheidungen für die Änderung der inneren Energie mit Hilfe des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik, Anwendungsbeispiele: Teilprozesse beim Viertakt-Diesel-Motor, Joule-Experiment

Erläutern von Beispielen für die Änderung der inneren Energie eines Systems, Schließen auf Temperaturänderung des Systems

Zuordnen und Beschreiben weiterer Beispiele aus der Technik

Erster Hauptsatz in Verbindung mit den kalorischen Zustandsgleichungen; die spezifischen Wärmekapazitäten  $c_p$  und  $c_v$

Interpretieren der aufgestellten Gleichungen und Lösen von Aufgaben

Isobare Wärmeübertragung eines Systems A an ein Nachbarsystem B (ohne Änderung des Aggregatzustandes)

Wärmekapazität eines Kalorimeters, Abhängigkeit der Wärmekapazität vom Füllstand

Durchführen und Auswerten kalorischer Messungen

Unmöglichkeit der Konstruktion eines Perpetuum mobile erster Art (Wiederholung Kl. 8)

Würdigung der wissenschaftlichen Arbeiten von J. R. Mayer, J. P. Joule und H. v. Helmholtz zum Energieerhaltungssatz

#### Demonstrationsexperiment:

Aufnahme des  $p$ - $V$ -Diagramms für Luft

#### Schülerexperimente:

Bestimmen der Wärmekapazität eines Kalorimeters (Kalorimeter aus Aufbautellen)

Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität eines festen Metallkörpers (Berücksichtigung der Wärmekapazität des Kalorimeters)

### 2.2.2. Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik

(2 Stunden)

Begriffe reversibler Prozeß und irreversibler Prozeß, Beispiele für irreversible Prozesse: Ausgleichsvorgänge (Temperaturausgleich, Diffusion), Vorgänge mit Reibung, plastische Verformung

no.  
im. Pro

Quasistatische Zustandsänderungen als zeitliche Folge von Gleichgewichtszuständen und die Darstellung der Zustandsänderungen in Diagrammen

Z. and.

Zweiter Hauptsatz der Thermodynamik: Unmöglichkeit eines Perpetuum mobile zweiter Art

Thermischer Wirkungsgrad; technische Bedeutung verschiedener Energieformen hinsichtlich ihrer verlustarmen Umwandelbarkeit

$\eta_{th}$

Erläutern irreversibler und nahezu reversibler Prozesse an ausgewählten Beispielen

Hinweis auf Nichtanwendbarkeit des zweiten Hauptsatzes im kosmischen Bereich

form  
u. H.S

### 2.2.3. Thermodynamisches Verhalten der Stoffe

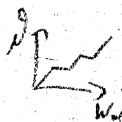
(9 Stunden)

Grundlagen aus der Klasse 8:

Energetische Betrachtungen über das Schmelzen und Verdampfen; molekularkinetische Deutung der Ausdehnung von Körpern bei Temperaturerhöhung

Hinweis auf die Existenz von Zustandsgleichungen, die das Verhalten realer Stoffe in verschiedenen Druck- und Temperaturbereichen erfassen (qualitativ)

Veränderung von Eigenschaften des Wassers bei isobarer Wärmezufuhr, T-Q-Diagramm des Wassers mit Aggregatzustandsänderungen (Schmelzen und Erstarren, Verdampfen und Kondensieren), spezifische Schmelzwärme, spezifische Verdampfungswärme (Wiederholung Kl. 8)



Begründen des Verlaufes einer isobaren Zustandsänderung von Wasser bei Änderung des Aggregatzustandes

Herleiten der Gleichung zur kalorimetrischen Bestimmung der spezifischen Schmelzwärme von Eis bei konstantem Umgebungsdruck

Anomale

Längenänderung von Körpern:  $\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$ ,  
linearer Ausdehnungskoeffizient  $\alpha$

Volumenänderung von Körpern:  $\Delta V = \gamma \cdot V \cdot \Delta T$ ,  
kubischer Ausdehnungskoeffizient  $\gamma$

Herleitung 1

Lösen von Aufgaben zur isobaren Längen- und Volumenänderung

Beispiele für reale Gase, die unter Normalbedingungen dem Verhalten des idealen Gases nahekommen; Zustandsgleichung des idealen Gases:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{konstant und } p \cdot V = m \cdot R \cdot T; \text{ stoffspezifische Gaskonstante } R$$

Lösen einfacher Aufgaben mit Hilfe der Zustandsgleichung des idealen Gases

Isotherme, isochore, isobare und adiabatische Zustandsänderungen als spezielle reversible Zustandsänderungen des idealen Gases, Größenbeziehungen und zugehörige p-V-Diagramme

Adiabatische Zustandsänderungen als Folgerung aus dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik

Herleiten der Gleichungen für isotherme, isochore und isobare Zustandsänderungen aus der Zustandsgleichung des idealen Gases

Diagr. Schließen auf spezielle Zustandsänderungen aus vorgegebenen p-V-Diagrammen und Vergleichen der Zustandsgrößen vor und nach dem Prozeß

Aufstellen und Interpretieren der Energiebilanz bei speziellen und reversiblen Zustandsänderungen

Geschlossener Gasturbinenprozeß als eine Aufeinanderfolge von Zustandsänderungen des idealen Gases: Blockschaltplan der Anlage, spezielle Zustandsänderungen, thermischer Wirkungsgrad und Möglichkeiten seiner Erhöhung

Zeichnen und Auswerten des p-V-Diagramms eines geschlossenen Gasturbinenprozesses

Zustandsänderungen des Wassers und thermischer Wirkungsgrad beim Kraftwerksprozeß; Umweltbelastung durch Wärme- und Kernkraftwerke, Möglichkeiten zur Reduzierung der Umweltbelastung

#### Demonstrationsexperimente:

Nachweis der unterschiedlichen Längenänderung verschiedener Metalle, wenn  $l$  und  $\Delta T$  konstant sind (qualitativ)

Bestätigung der Zustandsgleichung des idealen Gases

ph. FZ Nachweis der Temperaturzunahme bei adiabatischer Kompression (Prinzip der Zündung beim Dieselmotor)

### 3. Optik

30 Stunden

In diesem Stoffgebiet erweitern die Schüler ihr Wissen über die Strahlenoptik aus Klasse 6 und über die Wellenoptik aus Klasse 10 und vertiefen es durch quantitative Betrachtungen.

Am Beispiel der Eigenschaften des Lichtes sollen die Schüler die Anwendbarkeit klassischer Modelle auf Mikroobjekte schrittweise an experimentellen Ergebnissen überprüfen. Dabei werden sie zur Einsicht geführt, daß

es nicht möglich ist, Erscheinungen im mikrophysikalischen Bereich jeweils nur mit dem Teilchenmodell oder dem aus der Makrophysik stammenden Wellenmodell umfassend zu beschreiben.

Zur Abrundung der Erkenntnisse über das Wesen des Lichtes wird den Schülern Wissen über den Quantencharakter des Lichtes vermittelt.

Im Mittelpunkt der ersten Stoffeinheit steht die Wiederholung und Erweiterung des Wissens der Schüler über das Reflexions- und Brechungsgesetz sowie über die Bildentstehung bei optischen Geräten. Außerdem werden die Schüler mit technisch bedeutsamen Lichtleitrichtungen vertraut gemacht. Der in Klasse 8 eingeführte Inhalt des Begriffs Lichtstrahl wird präzisiert und als Modell charakterisiert, das für die Behandlung der Bildentstehung und Lichtleitung geeignet ist, aber keine Auskunft über das Wesen des Lichtes gibt.

TÜG 10

Modell

Die Schülerexperimente sind so zu gestalten, daß die Schüler die Experimente weitgehend selbständig planen, durchführen und auswerten können.

In der zweiten Stoffeinheit steht die Frage nach dem Wesen des Lichtes im Vordergrund. Zur Beantwortung dieser Frage werden Interferenzerscheinungen herangezogen.

TÜ 10

Bei der Wiederholung und Systematisierung grundlegender Begriffe der Wellenlehre aus Klasse 10 ist nochmals herauszuarbeiten, daß Wellen Energie übertragen, aber keinen Stoff, und daß die Interferenz eine wellentypische Erscheinung ist. Die Demonstration der Interferenzmuster erfolgt sowohl an dünnen Keilschichten als auch am Doppelspalt und am optischen Gitter.

Das Bestimmen der Wellenlänge monochromatischen Lichtes gehört zum grundlegenden Wissen und Können der Schüler.

Zielstellung der dritten und vierten Stoffeinheit ist es, den Schülern die Unterschiede zwischen den anschaulichen Erscheinungen der mechanischen Wellen und dem Licht bewußt zu machen, um die Grenzen der Anwendbarkeit klassisch-mechanischer Modelle auf mikrophysikalische Objekte herauszustellen.

Grenze v. Mod.

Bei der Behandlung des äußeren lichtelektrischen Effektes müssen die Schüler befähigt werden, die grafische Darstellung der Einsteinschen Gleichung auszuwerten, eine Energiebilanz aufzustellen und Aufgaben zum äußeren lichtelektrischen Effekt rechnerisch zu lösen.

Die Schüler sollen erkennen, daß die Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt mit den Messungen übereinstimmt, wenn eine Absorption des Lichtes in Quanten mit der Energie  $E = h \cdot f$  zugrunde gelegt wird. Dieser Gedankengang wird fortgesetzt, indem quantenhafte Energieaustauschprozesse in der Elektronenhülle untersucht werden. Als besonders wichtige wissenschaftliche Erkenntnis ist herauszuarbeiten, daß spektroskopische Messungen (Linienspektren) und die Messungen nach J. Franck und G. Hertz zu übereinstimmenden Ergebnissen geführt haben.

Franck-Hertz - V

In diesem Zusammenhang ist auf das Leben und das wissenschaftliche Werk der Forscherpersönlichkeiten J. Franck und G. Hertz einzugehen.

Die Schüler sollen die Emission von Lichtquanten (Photonen) am Beispiel des Wasserstoffs mit Hilfe eines einfachen Energieniveauschemas erläutern sowie die Wellenlänge und Frequenz einzelner Spektrallinien bei vorgegebenem Energieniveau berechnen können. In diesem Zusammenhang werden auch das Energieniveauschema und die prinzipielle Wirkungsweise des Lasers behandelt. Die Schüler sind mit den Eigenschaften und vielfältigen Anwendungen der Laserstrahlung in Wissenschaft, Technik, Medizin, Militärwesen und Produktion bekannt zu machen.

Es wird empfohlen, zu den Problemkreisen Anwendungen der Spektralanalyse und Anwendungen der Laserstrahlung Schülervorträge zu vergeben.

In der fünften Stoffeinheit wird das Wesen des Lichtes anhand solcher Experimente weiter verdeutlicht, die es auch gestatten, Analogiebetrachtungen zu Welle-Teilchen-Eigenschaften von Elektronen anzustellen. Die Schüler erlangen bei den Analogiebetrachtungen Vorstellungen über Grenzen der klassischen Physik sowie einen Ausblick auf Wege, die in der modernen Physik beschritten werden. Hieraus ergeben sich Hinweise auf die philosophisch-weltanschauliche Bedeutung physikalischer Forschungsergebnisse und Arbeitsmethoden. Inbesondere wird das Verständnis wesentlicher Merkmale des philosophischen Materiebegriffs vorbereitet; der Einfluß physikalischer Erkenntnisse auf die Auseinandersetzung zwischen Materialismus und Idealismus hinsichtlich der Erkennbarkeit der Welt wird hervorgehoben.

### 3.1. Strahlenoptik

9 Stunden

Grundlagen aus den Klassen 6 und 10:

Lichtquellen, Lichtausbreitung; Reflexion und Brechung; Bildentstehung (ebener Spiegel, Sammellinse); Dispersion

Grundlagen aus dem Astronomieunterricht der Klasse 10:

Aufbau und Funktion des Schulfernrohrs „Telemotor“

Lichtbündel und Modell Lichtstrahl; Präzisierung des Begriffs Strahlenoptik

Reflexionsgesetz (Wiederholung Kl. 10)

Brechungsgesetz (ohne Herleitung), 
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_B}{n_A}$$

Totalreflexion, Anwendung der Totalreflexion zur Lichtleitung (Umkehrprisma, Faseroptik)

Diskutieren des Gültigkeitsbereiches des Brechungsgesetzes

Beschreiben und Erklären von Anwendungen der Totalreflexion



Bestimmen von Brechzahl und Grenzwinkel der Totalreflexion unter Anwendung des Brechungsgesetzes

Allgemeine Erklärung der Bildentstehung (reelle und virtuelle Bildpunkte bzw. Bilder), Bildentstehung beim ebenen Spiegel und bei Sammellinsen, charakteristische Strahlen, Eigenschaften der Bilder (Art, Lage und Größe)

Tu<sub>6</sub>

Beobachten und Beschreiben von Bildern, die in Freihand- oder Demonstrationsexperimenten mit Hilfe von ebenen Spiegeln und Sammellinsen erzeugt werden

Herleitung der Abbildungsgleichung für dünne Sammellinsen und achsen-nahe Lichtstrahlen:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ , sowie des Abbildungsmaßstabes:  $\frac{y'}{y} = \frac{s'}{s}$ .

Projektor, Kamera und Lupe als Anwendungsbeispiele

Tu<sub>6</sub>

Lösen von Anwendungsaufgaben mit Hilfe der Abbildungsgleichung und des Abbildungsmaßstabes

Zeichnerisches Ermitteln und experimentelles Bestimmen der Bildweite und Bildgröße bei einer Sammellinse bekannter Brennweite für unterschiedliche Gegenstandsweiten und Vergleichen der unterschiedlichen Eigenschaften der Bilder

Zuordnen von Anwendungsbeispielen (zum Beispiel Projektor, Kamera, Lupe) zu den verschiedenen Fällen der Bildentstehung

Analysieren der Funktion optischer Bauelemente am Beispiel des Projektors (Lichtführung und Bilderzeugung)

Prinzipielle Wirkungsweise von astronomischem Fernrohr und Mikroskop; Hinweise auf Prismenfeldstecher und auf physikalische Grenzen der Leistungsfähigkeit optischer Instrumente (Auflösungsvermögen)

Ad-D

Beschreiben des Aufbaus und Erklären der Wirkungsweise optischer Geräte

Zeichnen des Strahlengangs beim Mikroskop und Zusammenstellen eines Mikroskops aus Aufbauteilen

### Demonstrationsexperimente:

Demonstration von Reflexion, Brechung und Totalreflexion

Demonstration der Bildentstehung am ebenen Spiegel

Demonstration der Erscheinung, daß ein von einem Punkt ausgehendes Lichtbündel nach Durchgang durch eine Sammellinse wieder in einem Punkt vereinigt wird (Lage der Schnittpunkte auch außerhalb der optischen Achse einer Sammellinse)

### Schülerexperimente:

Bestimmen der Brechzahl von Glas (Bedingung:  $n_{\text{Luft}} \approx 1$ ) unter Verwendung des Brechungsgesetzes

Bestimmen des Grenzwinkels der Totalreflexion

Bestimmen der Bildweite und Bildgröße bei einer Sammellinse bekannter Brennweite für unterschiedliche Gegenstandsweiten

### 3.2. Welleneigenschaften des Lichtes

7 Stunden

Grundlagen aus der Klasse 10:

Mechanische Wellen; Licht als elektromagnetische Welle; Interferenz des Lichtes bei einer Beugung am Doppelspalt

Definition von Schwingung und Welle, Kenngrößen von Wellen, Momentanbild einer Welle, Energieübertragung durch Wellen, Ausbreitungsvorgänge (Reflexion, Brechung, Beugung, Interferenz), Wellenfronten (Wiederholung Kl. 10); Herleitung der Interferenzgleichung am Beispiel mechanischer Wellen (Wasserwellen):

$$\frac{n \cdot \lambda}{b} = \frac{s_n}{c_n}, n \in \mathbb{N}$$

Welleneigenschaften des Lichtes, Deutung der Lichtstrahlen als Wellennormale, Beugung; Analogiebetrachtungen zwischen mechanischen Wellen und Licht

Definieren der Grundbegriffe der Wellenlehre

Interferenz als relativ leicht nachweisbare wellentypische Erscheinung; Notwendigkeit der Erzeugung kohärenten Lichtes; Demonstration verschiedener Möglichkeiten der Erzeugung eines Interferenzmusters (dünne Keilschichten, Doppelspalt, optisches Gitter)

Aufstellen der Interferenzgleichung für die hellen Streifen bei Durchgang von Licht durch einen Doppelspalt in Analogie zur Interferenzgleichung für mechanische Wellen; Verallgemeinerung der Interferenzgleichung auf das optische Gitter (Plausibilitätsbetrachtung), Interferenzmuster als ortsabhängige Energieverteilung

Schließen auf spektrale Zerlegung des Lichtes aus der Interferenzgleichung

Durchführen eines Experiments zur Darstellung eines Beugungsspektrums

Bestimmen der Wellenlänge von monochromatischem Licht

Hinweis auf Interferenzmuster, die mit Wellenlängen erzeugt werden, die außerhalb des sichtbaren Bereiches liegen (Röntgenstrahlung als Beispiel)

#### Demonstrationsexperimente:

Demonstration der Reflexion, der Brechung und der Beugung von Wasserwellen sowie des Interferenzmusters von Wasserwellen mit Hilfe zweier punktförmiger Erregerzentren

Nachweis der Änderung der Energieverteilung in einem Interferenzmuster (Wasserwellen) bei Variation des Abstandes der Erregerzentren zweier Wellenzüge

Demonstration des Interferenzmusters monochromatischen Lichtes unter Verwendung einer dünnen Keilschicht (oder Pohlischer Interferenzversuch), eines Doppelspaltes und eines optischen Gitters

### **Lichtlerexperimente:**

Experimentelles Darstellen des Interferenzmusters von Glühlicht mit Hilfe eines optischen Gitters und Bestimmen der Wellenlänge von rotem und blauem Licht

### **3.3. Quantenhafte Absorption des Lichtes**

5 Stunden

Grundlagen aus den Klasse 8 und 9:

Wirkungsweise der Vakuum-Photozelle (Informationswissen aus Klasse 9); Spannungstellerschaltung; allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorganges

Tu<sup>4</sup><sub>8,9</sub>

#### Äußerer lichtelektrischer Effekt und seine Auswertung:

Abhängigkeit des Photostroms von der Lichtintensität; Unabhängigkeit der kinetischen Energie der Photoelektronen von der Lichtintensität, Abhängigkeit der kinetischen Energie der Photoelektronen von der Frequenz des Lichtes und grafische Darstellung dieser Abhängigkeit (Energieeinheit eV); Austrittsarbeit als stoffabhängige Konstante, Grenzfrequenz

Beschreiben und Erklären des experimentellen Vorgehens bei der Bestimmung der kinetischen Energie der Photoelektronen

Auswerten der grafischen Darstellung der kinetischen Energie der Photoelektronen in Abhängigkeit von der Frequenz des Lichtes

Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt:  $h \cdot f = W_a + E_{kin}$ ; Hinweis auf den akustischen Nachweis von Lichtquanten mit einem Zählrohr; Energie eines Lichtquants (Photons):  $E = h \cdot f$ , Plancksches Wirkungsquantum  $h$

Quantenhafte Lichtabsorption und Existenz einer Grenzfrequenz beim äußeren lichtelektrischen Effekt als Widerspruch zum Wellenmodell aus der Makrophysik, Unvereinbarkeit der Beziehung  $E = h \cdot f$  mit Wellenlängenvorstellungen

Diskutieren von Sonderfällen der Energiebilanz beim äußeren lichtelektrischen Effekt

disk

Lösen von Aufgaben zum äußeren lichtelektrischen Effekt

#### Demonstrationsexperimente:

Untersuchung der Abhängigkeit des Photostroms einer Vakuumphotozelle von der Intensität des Lichtes

Nachweis der Unabhängigkeit der kinetischen Energie der Photoelektronen von der Intensität des Lichtes

Nachweis der Abhängigkeit der kinetischen Energie der Photoelektronen von der Frequenz des Lichtes

### 3.4. Quantenhafte Emission des Lichtes

7 Stunden

Grundlagen aus der Klasse 10:

<sup>4</sup> T<sub>U</sub>no  
Ad<sub>no</sub> Dispersionsspektren, kontinuierliche Spektren, Linienspektren, Emissions- und Absorptionsspektren; Licht als Strahlung aus der Atomhülle; Prinzip der Spektralanalyse

Elektronenhülle als Entstehungsbereich der Lichtquanten, diskrete Energiezustände der Elektronenhülle (Grundzustand, angeregter Zustand), Energieaufnahme und -abgabe diskreter Energiebeträge:  $\Delta E = h \cdot f$

Linienspektren als wesentliche Belege für Emission diskreter Energiebeträge, Energieniveauschema des atomaren Wasserstoffs

<sup>4</sup> T<sub>U</sub>no  
Prinzipielle Wirkungsweise des Spektrometers; Prinzip der Spektralanalyse und Anwendungsbereiche

Berechnen von Wellenlänge und Frequenz des emittierten Lichtes und Einordnen in das elektromagnetische Spektrum

Erläutern des Prinzips der Spektralanalyse und Nennen von Anwendungsbereichen

Quantenhafte Anregung durch thermische innere Energie, Strahlungsenergie und kinetische Energie; Elektronenstoßexperiment von J. Franck und G. Hertz, Gleichheit absorbierter und emittierter Energie

Würdigung der Forscherpersönlichkeiten J. Franck und G. Hertz

Beschreiben des Experiments nach J. Franck und G. Hertz, Diskutieren des I-U-Diagramms, Vergleichen der Ergebnisse mit spektroskopischen Messungen

Historische Entwicklung der Erkenntnisfindung (insbesondere die Rolle des Experiments) in diesem Bereich

<sup>wellen</sup>  
<sup>part. A</sup> Hinweis auf den Einfluß dieser Erkenntnisse auf die Auseinandersetzung zwischen Materialismus und Idealismus (Erkennbarkeit der Welt)

Energieniveauschema und prinzipielle Wirkungsweise eines Lasers; Eigenschaften und Anwendung der Laserstrahlung

<sup>Lasel</sup>  
Erläutern von Eigenschaften und Anwendung der Laserstrahlung

**Demonstrationsexperiment:**

Demonstration von Linienspektren

### 3.5. Welle-Teilchen-Eigenschaften bei Mikroobjekten

2 Stunden

Weitere Experimente, die das Wesen des Lichtes verdeutlichen: Häufigkeitsverteilung der Lichtquanten bei einzeln nacheinander geöffneten und bei gleichzeitig geöffneten Spalten, Interferenzmuster auch bei extrem geringer Lichtintensität

**Welle-Teilchen-Eigenschaften freier Elektronen (Erarbeitung in Analogie zu entsprechenden Experimenten mit Photonen)**

**Verallgemeinerung zu der Erkenntnis, daß an Mikroobjekten generell sowohl Teilchen- als auch Welleneigenschaften nachgewiesen werden können**

**Charakterisierung der historischen Bedeutung dieser Erkenntnisse**

**Hinweis auf physikalisch-technische Anwendung (Elektronenmikroskop). Vergleichende Betrachtungen zum Elektronenmikroskop und Lichtmikroskop hinsichtlich des Auflösungsvermögens und des prinzipiellen Aufbaus**

Vergl.

#### **4. Praktikum**

**11 Stunden**

Im Praktikum sollen die Schüler bei der Lösung experimenteller Aufgaben ihr Wissen und Können zunehmend selbständig anwenden. Durch die experimentelle Schülerarbeit sind solche Charaktereigenschaften ausprägen wie Zielstrebigkeit und Ausdauer, Gewohnheit zur Kontrolle und Wertung von Ergebnissen, Exaktheit, Verantwortungsbewußtsein, Hilfsbereitschaft und gegenseitige Rücksichtnahme.

Im Praktikum werden Experimente sowohl in Schülergruppen (Gruppenexperimente) als auch durch jeden Schüler einzeln (Einzelexperimente) durchgeführt.

Die Gruppenexperimente sind von ihrem Anforderungsniveau her in drei Schwerpunkte eingeteilt. Jeder Schüler hat mindestens ein Gruppenexperiment zu jedem dieser drei Schwerpunkte durchzuführen.

Als Einzelexperimente werden solche Experimente durchgeführt, die durch die verbindlichen Schülerexperimente den Schülern im wesentlichen bereits bekannt sind. Die Schüler sollen die Einzelexperimente zur Reifeprüfung beherrschen. Jeder Schüler hat zwei Einzelexperimente unter prüfungsähnlichen Bedingungen allein durchzuführen, das heißt, die Durchführung ist so zu gestalten, daß die Schüler auf die in der schriftlichen und mündlichen Reifeprüfung gestellten Anforderungen vorbereitet werden.

Insgesamt hat jeder Schüler in diesem Praktikum fünf Experimente durchzuführen; für jedes einzelne sind zwei Unterrichtsstunden geplant.

5SV

Für die Klassen in den Erweiterten Oberschulen wird empfohlen, das Praktikum in der Klasse 11 ab März durchzuführen. Den Schülern sind die Aufgaben für die Praktikumsexperimente so zeitig zu geben, daß sie sich gründlich auf die Lösung vorbereiten können. Die Protokolle werden von den Schülern soweit wie möglich vorbereitet, so daß sie die Unterrichtszeit rationell für Durchführung und Auswertung der Experimente nutzen können.

Während des Experimentierens sind Kontrollen des Wissens und Könnens der Schüler durchzuführen.

! wie

## **Zur Fehlerbetrachtung**

Das bis zur Klasse 10 erworbene Wissen der Schüler über Fehlerbetrachtungen ist zu festigen und weiterzuentwickeln.

Bis zur Klasse 12 sollen sie folgende Begriffe kennen:

Meßgröße, Meßgerät, Meßwert, Meßergebnis;  
systematischer Fehler, zufälliger Fehler, grober Fehler, absoluter Fehler, relativer (prozentualer) Fehler, Größtfehler; Meßunsicherheit.

Die Schüler sollen erkennen, daß es für viele Meßaufgaben genügt, nach zweckmäßiger Auswahl der Meßgeräte nur eine Messung der Meßgröße durchzuführen und zur Sicherung vor groben Fehlern eine Kontrollmessung anzuschließen. Die Meßunsicherheit wird dann weitgehend durch die Qualität des Meßgerätes bestimmt.

Die Schüler sollen bei der Ermittlung von Meßergebnissen, die aus den Meßwerten verschiedener Größen berechnet werden, in der Lage sein:

- möglichst genau zu ermitteln, welche Meßgröße den größten relativen Fehler in das Meßergebnis einbringt, um diese Meßgröße besonders sorgfältig messen zu können, und
- in dem durch Rechnung gefundenen Meßergebnis nicht mehr zuverlässige Ziffern anzugeben, als der Meßwert mit dem größten relativen Fehler aufweist.

Um diese Ziele zu erreichen, ist es notwendig, in einer Unterrichtsstunde (siehe Ziele und Aufgaben) einen systematisierenden Überblick über die Probleme der Fehlerbetrachtung zu geben.

## **Gruppenexperimente**

- I. *Aufnahme von Meßreihen zur Bestimmung mechanischer Größen.*
  - I/1 Ermitteln der Wurfbahn von Körpern
  - I/2 Bestimmen von Wurfgeschwindigkeiten
  - I/3 Ermitteln der Geschwindigkeit einer Kugel im Zusammenhang mit Stoßvorgängen
  - I/4 Bestimmen von Stoßkraft und Stoßdauer einer frei fallenden Kugel
- II. *Bestimmung physikalischer Größen bei weitgehend selbständiger Erarbeitung theoretischer Grundlagen*
  - II/1 Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Schallwelle in Luft
  - II/2 Abschätzen eines Moleküldurchmessers
  - II/3 Untersuchen von einfachen und gekoppelten mechanischen Schwingungen unter Einbeziehung der Dämpfung
  - II/4 Bestimmen des Spannungskoeffizienten von Luft
- III. *Bestimmung physikalischer Größen aus der Thermodynamik unter Verwendung von Versuchsanleitungen mit verminderter Ausführlichkeit*



- III/1 Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität einer Flüssigkeit durch Vergleich von aufgewandter elektrischer Arbeit und Änderung der inneren Energie der Flüssigkeit
- III/3 Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität einer Flüssigkeit durch kalorimetrische Messungen
- III/3 Bestimmen des linearen Ausdehnungskoeffizienten eines Metalls
- III/4 Bestimmen der spezifischen Schmelzwärme von Eis

### Masseexperimente

- 1. Bestimmen der Wärmekapazität eines Kalorimeters
- 2. Bestimmen spezifischer Wärmekapazitäten von Metallen
- 3. Bestimmen der Brechzahl von Glas und des Grenzwinkels der Totalreflexion
- 4. Bestimmen von Lichtwellenlängen und von Gitterkonstanten durch Interferenz

**Klasse 12**

**78 Stunden**

### **Mechanik II**

**18 Stunden**

In diesem Stoffgebiet werden Begriffe und Aussagen aus den Klassen 9 und 11 wiederholt, erweitert und mit Hilfe der mathematischen Kenntnisse aus der Differential- und Integralrechnung vertieft.

Die den Schülern zu vermittelnden Gesetze der Rotation des starren Körpers werden im Bereich der Kinematik durch Analogiebetrachtungen zu entsprechenden Gesetzen der Translation des starren Körpers gewonnen. Im Bereich der Dynamik werden die Begriffe und Gesetze vorwiegend experimentell erarbeitet. Dabei ist den Schülern die Notwendigkeit des Arbeitens mit den Modellen „Massepunkt“ und „starrer Körper“ zu verdeutlichen. In diesem Stoffgebiet ist es besonders wichtig, Beobachtungen und Erfahrungen der Schüler aus dem polytechnischen Unterricht und aus der wissenschaftlich-praktischen Arbeit in den Unterricht anzubeziehen.

Am Beginn der ersten Stoffeinheit wird ausgehend vom realen Körper durch Abstraktion von bestimmten Eigenschaften das Modell „starrer Körper“ erarbeitet. Den Schülern soll bei der Gegenüberstellung der Kinematik von Translation und Rotation starrer Körper bewußt werden, daß alle Massepunkte des starren Körpers zum gleichen Zeitpunkt bei der Translation die gleiche Geschwindigkeit und bei der Rotation die gleiche Winkelgeschwindigkeit haben. Der entsprechende Sachverhalt gilt auch für die Größen Weg beziehungsweise Drehwinkel und für die Größen Beschleunigung beziehungsweise Winkelbeschleunigung.

Bei der mathematischen Erfassung des Momentanwertes einer physikalischen Größe ist zu berücksichtigen, daß die Einführung der Begriffe Differenzenquotient und Differentialquotient im Mathematikunterricht bereits an Beispielen aus der Physik (Durchschnitts- und Augenblicksgeschwindigkeit) motiviert wurde.

Die Bewegungsgesetze der Translation werden deduktiv durch Anwendung der Integralrechnung hergeleitet.

Die Schüler sollen an geeigneten Beispielen (Schwingung, lotrechter Wurf aufwärts) erkennen, daß die Beschreibung eines Bewegungsvorganges mit dem Ort-Zeit-Gesetz in vielen Fällen zweckmäßiger ist als mit dem Weg-Zeit-Gesetz.

Beim Lösen von Aufgaben sollen die Schüler die Gesetze auswählen und anwenden, die für die Lösung besonders zweckmäßig sind. Die besondere Bedeutung der Ort-Zeit-Gesetze ist auch dadurch zu begründen, daß in der Militärtechnik, Raumfahrt, Astronomie und in anderen wissenschaftlich-technischen Bereichen die jeweiligen Aufenthaltsorte der Objekte – weniger die zurückgelegten Wege – von Interesse sind.

Die Bewegungsgesetze der Rotation werden vorwiegend durch Analogiebetrachtungen aus den entsprechenden Bewegungsgesetzen der Translation eines starren Körpers erarbeitet.

In der zweiten Stoffeinheit werden Betrachtungen zur Dynamik der Rotation auf homogene, rotationssymmetrische starre Körper mit körper- und raumfester Achse als Symmetrieachse beschränkt. Auf den Vektorcharakter des Drehmoments ist nicht einzugehen.

Die Schüler sollen auf der Grundlage experimenteller Untersuchungen erkennen, daß bei den Größen Drehmoment  $M$  und Trägheitsmoment  $J$  Abstandsbeziehungen zur Rotationsachse wesentlich sind, und daß es mit Hilfe dieser Größen möglich ist, das Grundgesetz der Dynamik der Rotation in Analogie zum Grundgesetz der Dynamik der Translation zu formulieren. Dabei ist auf den physikalischen Zusammenhang der beiden Grundgesetze hinzuweisen.

Einige der notwendigen Untersuchungen sind in Form von Schülerexperimenten durchzuführen, wobei es sich empfiehlt, die Abhängigkeit der Winkelbeschleunigung von Betrag und Angriffspunkt der Kraft in getrennt-gemeinschaftlicher Arbeitsweise erarbeiten zu lassen.

Der funktionelle Zusammenhang von Trägheitsmoment und Winkelbeschleunigung für den Spezialfall  $J = r^2 \cdot m$  wird experimentell bestätigt. Bei der Problemstellung und beim Lösen von qualitativen und quantitativen Aufgaben ist auf die technische Anwendung einzugehen (zum Beispiel Riemetrieb, rotierende Maschinenelemente).

## **1.1. Kinematik von Translation und Rotation**

**9 Stunden**

Grundlagen aus den Klassen 9 und 11:

Gesetze der geradlinigen, gleichförmigen und der geradlinigen,

gleichmäßig beschleunigten Bewegung; Gesetze der gleichförmigen Kreisbewegung, Umlaufzeit  $T$ , Bahngeschwindigkeit  $v$ , Radialbeschleunigung  $a_r$

Translation und Rotation realer Körper (Beispiele); Translation als Parallelverschiebung aller körperfesten Punkte, Rotation als Kreisbewegung aller körperfesten Punkte um eine gemeinsame körper- und raumfeste Achse, Zusammensetzung beider Bewegungen (zum Beispiel rollendes Rad, Vorschub rotierender Maschinenelemente, Geschößdrall)

Analysieren von Beispielen aus der Praxis (Verkehrswesen, Produktion, Militärtechnik) für Translation, für Rotation und für aus beiden Anteilen zusammengesetzte Bewegungen

Gedankliche Zerlegung eines Körpers in Massepunkte, Modell „starrer Körper“ als makrophysikalisches System aus miteinander starr verbundenen Massepunkten

Definieren des Modells „starrer Körper“

Analoge Größen zur Beschreibung der Translation und Rotation des starren Körpers: Gleichheit von Weg  $s$ , Geschwindigkeit  $v$  und Beschleunigung  $a$  für alle Massepunkte eines starren Körpers bei reiner Translation sowie Gleichheit von Drehwinkel  $\sigma$ , Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  und Winkelbeschleunigung  $\alpha$  für alle Massepunkte eines starren Körpers bei Rotation

Beispiele für gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Rotation; Zusammenhang zwischen Bahngeschwindigkeit und Winkelgeschwindigkeit einzelner Massepunkte des starren Körpers

Herleiten und Interpretieren der Beziehung:  $v = r \cdot \omega$   
für einzelne Massepunkte des starren Körpers

Übergang vom Durchschnittswert zum Momentanwert einer Größe, der mathematisch als Übergang vom Differenzenquotienten zum Differentialquotienten dargestellt wird (Geschwindigkeit und Winkelgeschwindigkeit; Beschleunigung und Winkelbeschleunigung)

Definieren von Durchschnittswert und Momentanwert zeitabhängiger Größen und Erläutern der physikalischen Bedeutung dieser Größen

Herleiten und Interpretieren des Zusammenhangs zwischen Tangentialbeschleunigung und Winkelbeschleunigung für einzelne Massepunkte des starren Körpers:  $a_t = r \cdot \alpha$

Bewegungsgesetze für die Translation von Massepunkten (einschließlich zugehörigen Diagramme):

Herleitung der Geschwindigkeit-Zeit-Gesetze  $v = f(t)$  und der Weg-Zeit-Gesetze  $s = f(t)$  unter Anwendung der Integralrechnung für die Fälle  $a = 0$  und  $a = \text{konst.} \neq 0$  bei  $v \ll c$  (Anfangsbedingungen:  $s_0 \neq 0$  und  $v_0 \neq 0$  bei Zeit  $t_0 = 0$ )

Übergang vom Weg-Zeit-Gesetz:  $s = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$

zum Ort-Zeit-Gesetz:  $x = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + x_0$

Interpretieren des Ort-Zeit-Gesetzes und des Geschwindigkeit-Zeit-Gesetzes, Herleiten von Sonderfällen durch Vorgabe von  $x_0$ ,  $v_0$  und  $a$  und Schließen auf die jeweilige Bewegungsart

Lösen von Aufgaben zu den Bewegungsgesetzen der Translation

Auswerten vorgegebener  $x$ - $t$ -Diagramme,  $s$ - $t$ -Diagramme,  $v$ - $t$ -Diagramme und  $a$ - $t$ -Diagramme

**Bewegungsgesetze für Rotation eines starren Körpers (einschließlich der zugehörigen Diagramme):**

Bewegungsgesetze  $\omega = f(t)$  und  $\sigma = f(t)$  für die gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Rotation eines starren Körpers in Analogie zu entsprechenden Bewegungsgesetzen der Translation

Auswerten vorgegebener  $\sigma$ - $t$ -Diagramme,  $\omega$ - $t$ -Diagramme und  $\alpha$ - $t$ -Diagramme

Lösen von Aufgaben zu den Bewegungsgesetzen der Rotation

Planen einer Experimentieranordnung zur Bestimmung von Winkelbeschleunigung und Winkelgeschwindigkeit einer rotierenden Kreisscheibe und Ermitteln dieser Größen

#### **Demonstrationsexperiment:**

Bestimmen von Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung

### **1.2. Dynamik von Translation und Rotation**

**8 Stunden**

Grundlagen aus den Klassen 9 und 11:

Grundgesetz der Dynamik; Radialkraft; Masse als Maß der Trägheit und der Schwere

Grundlagen aus dem Fach Einführung in die sozialistische Produktion Klasse 9:

Einführung des Drehmoments

Beispiele für homogene, rotationssymmetrische starre Körper mit körper- und raumfester Achse als Symmetrieachse (Speichenrad, Kreisscheibe, Kreisring, hantelförmige Körper)

Abhängigkeit der Winkelbeschleunigung von der Kraft und ihrem Angriffspunkt an ein und demselben Körper, Sonderfälle:

( $\alpha \sim F$  bei  $r = \text{konst.}$  und  $\vec{r} \perp \vec{F}$  sowie  $\alpha \sim r$  bei  $F = \text{konst.}$  und  $\vec{r} \perp \vec{F}$ )

Untersuchen der Abhängigkeit der Winkelbeschleunigung eines hantelförmigen Körpers von Betrag und Angriffspunkt der Kraft

( $\vec{r} \perp \vec{F}$ )

**Definition des Drehmoments:**  $M = \tau \cdot F$  unter der Bedingung  $\vec{r} \perp \vec{F}$  und Lage von  $\vec{F}$  in einer Ebene senkrecht zur Rotationsachse

Untersuchen der Abhängigkeit der Winkelbeschleunigung eines hantelförmigen Körpers vom Drehmoment

Analogie zwischen dem Grundgesetz der Dynamik für die Rotation  $M = J \cdot a$  und dem Grundgesetz der Dynamik für die Translation  $F = m \cdot a$ ,

Trägheitsmoment  $J$ ,  $J = \frac{M}{a}$

Berechnen des Trägheitsmoments aus den experimentell ermittelten Werten

Abhängigkeit des Trägheitsmoments von der Gestalt des rotierenden Körpers; quantitative Untersuchung dieser Abhängigkeit am Beispiel eines hantelförmigen Körpers (Massestücke verschiebbar und veränderlich) durch Messungen von  $a$  bei konstantem Drehmoment;  $J = r^2 \cdot m$  als Spezialfall, qualitative Untersuchung dieser Abhängigkeit für Kreisinge

Verallgemeinerung auf rotierende Körper:  $J = \int r^2 dm$

Hinweis auf Unwucht bei nicht rotationssymmetrischen Körpern

Berechnen der Brems- oder Beschleunigungszeit bei Translation und Rotation eines Körpers (Beispiele aus dem Verkehrswesen und der Produktion)

Herleitung der Gleichung  $E = \frac{1}{2} m \cdot \vec{v}^2 \cdot \omega^2$  (Rotationsenergie) für Kreisinge, Verallgemeinerung auf rotierende Körper:  $E = \frac{1}{2} J \cdot \omega^2$ , Bedeutung der Rotationsenergie in Anlagen der Produktion (Schwungmassen)

Berechnen der Rotationsenergie unterschiedlicher rotierender Körper (Vorgabe der Gleichung für das Trägheitsmoment des Körpers)

Systematisierung der Begriffe und Gesetze für Translation und Rotation (Kinematik und Dynamik)

Ordnen analoger Begriffe und Gesetze als Überblicksdarstellung

Erläutern der Gültigkeitsbedingungen der Gesetze

Lösen von Aufgaben zur Translation und Rotation

### Demonstrationsexperiment:

Quantitative Untersuchung des Zusammenhangs von Trägheitsmoment eines hantelförmigen Körpers und Winkelbeschleunigung zur Bestätigung des Spezialfalls  $J = r^2 \cdot m$ , qualitative Untersuchung dieses Zusammenhangs für Kreisinge

### Schülerexperimente:

Untersuchen von Zusammenhängen zwischen Drehmoment, Trägheitsmoment und Winkelbeschleunigung

In diesem Stoffgebiet wird das Wissen der Schüler aus der Elektrizitätslehre der Klassen 8, 9 und 10 vertieft und systematisiert. Eine Vertiefung des Unterrichtsstoffes erfolgt durch die Einführung feldbeschreibender Größen des elektrischen und magnetischen Feldes, sowie durch die quantitative Behandlung des Induktionsgesetzes und der Wechselstromwiderstände. Bei der Systematisierung soll der aus Klasse 10 bekannte Zusammenhang zwischen veränderlichen elektrischen und magnetischen Feldern weiter verdeutlicht werden. Vorgänge in physikalischen Feldern werden herangezogen, um mikrophysikalische Größen zu bestimmen.

Das Wissen über Felder wird auf die in Klasse 9 behandelten Leitungsvorgänge angewandt, wobei vorwiegend Leitungsvorgänge in festen Körpern unter dem Aspekt der unterschiedlichen Spannung-Stromstärke-Beziehungen betrachtet werden.

In der **ersten Stoffeinheit** werden elektrostatische, magnetostatische und elektromagnetische Felder behandelt.

Das Wissen aus Klasse 9 über das elektrostatische Feld wird wiederholt und erweitert. Neben dem bereits bekannten Meßverfahren, Feldstärken über Kräfte auf Probekörper zu bestimmen, lernen die Schüler am Beispiel des Plattenkondensators die Abhängigkeit der elektrischen Feldstärke von einer felderzeugenden Anordnung kennen.

Am Beispiel des elektrischen Feldes wird auf die historische Entwicklung des Feldbegriffes eingegangen. Die Schüler sollen in der Lage sein, folgende Betrachtungsweisen zur Deutung von Kräften auf elektrisch geladene Körper heranzuziehen:

- Kräfte zwischen elektrisch geladenen Körpern treten als direkte und augenblickliche Wechselwirkung zwischen diesen Körpern auf. Die Wechselwirkung erfolgt durch den Raum hindurch, ohne daß der Raum daran beteiligt ist (Fernwirkungstheorie).
- An der Wechselwirkung ist der Raum beteiligt: Feldänderungen breiten sich mit endlicher Geschwindigkeit aus (Nahwirkungstheorie).

Im Zusammenhang mit der letzteren Betrachtungsweise ist die Überzeugung der Schüler von der objektiven Realität des elektrischen und magnetischen Feldes weiter zu festigen und das Verständnis wesentlicher Merkmale des philosophischen Materiebegriffs zu fördern.

Den Schülern wird das Prinzip der Bestimmung der Elementarladung nach Millikan erläutert. Damit werden die Schüler mit einem historisch bedeutsamen Verfahren zur Bestimmung einer mikrophysikalischen Größe bekannt gemacht. Außerdem lernen sie im Zusammenhang mit einigen Anwendungsmöglichkeiten der Lorentzkraft das Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons nach Schuster kennen.

Aus Klasse 9 ist den Schülern nur die elektrische Feldstärke als Feldgröße in quantitativer Formulierung bekannt. Jetzt wird für das magnetostatische Feld die magnetische Flußdichte als Feldgröße eingeführt. Die



Einführung erfolgt über die Kräfte auf stromdurchflossene Leiter. Am Beispiel einer Spule lernen die Schüler außerdem die Abhängigkeit der magnetischen Flußdichte von einer felderzeugenden Anordnung kennen.

Die Schüler müssen in der Lage sein, die Ablenkung bewegter Ladungen im Magnetfeld mit Hilfe der Lorentzkraft zu erklären. Dabei kommt es bei der quantitativen Formulierung der Lorentzkraft darauf an, für den zu behandelnden Spezialfall die Orthogonalität der vektoriellen Größen zu beachten.

Das Induktionsgesetz wird unter Verwendung des Energieerhaltungssatzes quantitativ so formuliert, daß ein Ausblick auf die Maxwell'schen Gleichungen ermöglicht wird.

Zur Veranschaulichung des Induktionsgesetzes sollen die Schüler Demonstrationsexperimente selbständig planen und durchführen. Sie werden zur Einsicht geführt, daß zwischen den elektrischen und magnetischen Erscheinungen ein enger Zusammenhang besteht.

Die Schüler lernen Induktionsvorgänge im zeitlich konstanten Magnetfeld von Induktionsvorgängen im zeitlich veränderlichen Magnetfeld zu unterscheiden. Dabei ist den Schülern zu verdeutlichen, daß die Lorentzkraft geeignet ist, das Auftreten einer Induktionsspannung in einem Leiter, der in geeigneter Weise relativ zu einem magnetischen Feld bewegt wird, zu erklären. Gleichzeitig muß ihnen bewußt gemacht werden, daß es auch Fälle der elektromagnetischen Induktion gibt (zum Beispiel Transformator und Selbstinduktionsvorgänge), die mit Hilfe der Lorentzkraft nicht erklärt werden können.

Am Beispiel des Motors, Generators und Transformators sollen die Schüler Wechselwirkungen zwischen den Feldern beschreiben können.

Beim Gleichstrommotor und Gleichstromgenerator werden besonders die Umkehrbarkeit des elektromotorischen Prinzips sowie der Zusammenhang von elektromotorischem Prinzip und Generatorprinzip diskutiert.

In der **zweiten Stoffeinheit** wird an das Wissen der Schüler über elektrische und magnetische Felder angeknüpft und das in Klasse 9 behandelte allgemeine Modell des elektrischen Leitungsvorganges auf Leitungsvorgänge angewandt. Dabei steht die Vertiefung und Systematisierung des Wissens der Schüler aus den Klassen 9 und 10 über die Gesetze des Gleich- und Wechselstromkreises sowie die Funktion und Anwendung einiger elektronischer Bauelemente im Mittelpunkt des Unterrichts.

Bei der Behandlung der Leitungsvorgänge werden die unterschiedlichen Einflüsse auf den elektrischen Strom in verschiedenen Bauelementen schrittweise verändert und untersucht.

Zuerst wird der Einfluß des zeitlich konstanten elektrischen Feldes auf den elektrischen Strom in ohmschen Bauelementen untersucht, wobei durch Beschränkung auf metallische Leiter Fragen der Ladungsträgerkonzentration nicht erörtert werden.

Die Schüler erwerben anwendungsbereites Wissen über die Gesetze des unverzweigten und verzweigten Stromkreises sowie über die spannungs-

und stromrichtige Schaltung von Meßgeräten. In diesem Zusammenhang wird auf die in der Makrophysik gegebene Möglichkeit hingewiesen, die Beeinflussung eines Meßobjektes durch den Meßvorgang klein zu halten. Anschließend wird der Einfluß von Spule und Kondensator bei zeitlich periodischen Feldern auf den elektrischen Strom untersucht. Kenntnisse über die Abhängigkeit des kapazitiven und des induktiven Widerstandes von der Frequenz der Wechselfspannung gehören zum festen Wissen der Schüler.

Danach wird das Wissen der Schüler über Veränderungen der Beweglichkeit und Konzentration wanderungsfähiger Ladungsträger erweitert und systematisiert. Die Schüler lernen, die  $I$ - $U$ -Kennlinie einer Glühlampe, eines Thermistors und einer Halbleiterdiode experimentell zu ermitteln und den Verlauf der jeweiligen  $I$ - $U$ -Kennlinie zu erklären. Im Zusammenhang mit der Interpretation der  $I$ - $U$ -Kennlinien ist herauszuarbeiten, daß zur Kennzeichnung von Bauelementen an Stelle des Widerstandes die  $I$ - $U$ -Kennlinie tritt.

Am Beispiel des Widerstandsthermometers, der Triode und des Transistors werden die Schüler mit der Möglichkeit bekannt gemacht, in einem Bauelement die Stromstärke trotz konstanter Betriebsspannung dadurch zu ändern, daß die in den Bauelementen vorhandenen Bedingungen für den elektrischen Strom (elektrische Felder, Beweglichkeit, Konzentration der Ladungsträger) durch Maßnahmen von außen beeinflusst werden. Den Schülern ist zu verdeutlichen, daß derartige Steuerungen allgemeine Arbeitsprinzipien bei der Anwendung unterschiedlicher elektronischer Bauelemente darstellen.

Im fünften Stoffabschnitt werden die Schüler mit zwei der dort genannten funktionsfähigen Schaltungen bekannt gemacht. Die Auswahl bleibt dem Lehrer überlassen. Die Demonstrationsexperimente können auch als Schülerexperimente durchgeführt werden.

## 2.1. Elektrostatische, magnetostatische und elektromagnetische Felder

19 Stunden

### 2.1.1. Elektrostatisches Feld

(3 Stunden)

Grundlagen aus der Klasse 9:

Stoffeinheit „2.1. Elektrisches Feld“

Feldbegriff, Merkmale des elektrischen Feldes, Kräfte auf elektrisch geladene Probekörper in Luft und im Vakuum. (Beschleunigung von Ladungsträgern), elektrische Feldstärke  $\vec{E}$ ,  $E = \frac{F}{Q}$ . Einheit der elektrischen

Feldstärke.  $1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{s}} = 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$ .

Feldlinien, Feldformen (Wiederholung Kl. 9)

Beschreiben elektrostatischer Felder durch die elektrische Feldstärke und durch Feldlinien

Erläutern der objektiven Realität des elektrischen Feldes anhand experimentell feststellbarer Erscheinungen

Unterschiedliche Betrachtungsweisen bei der Deutung von Kräften auf elektrisch geladene Körper (Wechselwirkung Ladung – Ladung bzw. elektrisches Feld – Ladung), Coulombsches Gesetz, historische Entwicklung des Feldbegriffs

Stoff und Feld als für den Bereich der Physik wichtige Erscheinungsformen der Materie

Erläutern der historischen Entwicklung des Feldbegriffs

Elektrisches Feld eines Plattenkondensators

Elektrische Spannung  $U$ ,  $U = \frac{W}{Q}$  (Wiederholung Kl. 9)

Elektrische Feldstärke eines Plattenkondensators:  $E = \frac{U}{s}$  (Gültigkeitsbereich dieser Gleichung)

Arbeit bei der Beschleunigung von elektrisch geladenen Teilchen im elektrischen Feld (Wiederholung Kl. 9)

Hinweis auf das Prinzip der Bestimmung der Elementarladung nach Millikan

**Demonstrationsexperimente:**

Demonstration verschiedener Formen elektrischer Felder

Untersuchung des Zusammenhangs von Kraft und Abstand zweier elektrisch geladener Körper (halbquantitativ)

## 2.1.2. Magnetostatisches Feld

(6 Stunden)

Grundlagen aus der Klasse 9:

Kräfte zwischen stromführenden Leitern und Dauermagneten; Kraftwirkungen auf Probekörper; Magnetfeld einer Spule; Richtung der Feldlinien; Ladungsträger im Magnetfeld

Magnetostatische Felder von Dauermagneten und stromdurchflossenen Leitern; Kräfte in magnetostatischen Feldern auf Probekörper, insbesondere auf stromdurchflossene Leiter (Wiederholung Kl. 9)

Vergleichen der Feldlinienbilder verschiedener Magnete

Magnetische Flußdichte  $\vec{B}$  als Feldgröße, Gleichung für die magnetische Flußdichte unter Beschränkung auf einen geraden Leiter, der senkrecht

zu den magnetischen Feldlinien orientiert ist:  $B = \frac{F}{I \cdot l}$ , Einheit der magnetischen Flußdichte  $1 \frac{N}{A \cdot m} = 1 \text{ T}$

Magnetische Flußdichte für das homogene Magnetfeld einer Spule:

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

**Ablenkung von stromdurchflossenen Leitern im Magnetfeld als Beispiel für Kräfte auf Makroobjekte:  $F = I \cdot l \cdot B$**

**Ablenkung bewegter elektrischer Ladungen im Magnetfeld als Beispiel für Kräfte auf Mikroobjekte (Wiederholung Kl. 9), Lorentzkraft  $\vec{F}_L$ ,  $F_L = e \cdot v \cdot B$  unter der Bedingung der Orthogonalität der drei Vektoren: Lorentzkraft, magnetische Flußdichte und Geschwindigkeit; Zusammenhang zwischen Lorentzkraft und Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld**

Vergleichen magnetostatischer und elektrostatischer Felder hinsichtlich ihrer Entstehung, ihres Nachweises und ihrer Beschreibung durch Feldgrößen

Erklären der Ablenkung stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld mit Hilfe der Lorentzkraft

Lösen von Aufgaben zur magnetischen Flußdichte und zur Lorentzkraft

**Anwendung der Lorentzkraft zur Bestimmung der spezifischen Ladung des Elektrons nach Schuster**

Aufstellen der Gleichungen  $e \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{r}$  und  $e \cdot U = \frac{m \cdot v^2}{2}$

Berechnen der spezifischen Ladung des Elektrons und Berechnen der Geschwindigkeit des Elektrons

### **Demonstrationsexperimente:**

Demonstration der Kraft auf stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld, Nachweis von Richtungsbeziehungen und Nachweis des unterschiedlichen Betrages der Kraft (halbquantitativ)

Demonstration der Ablenkung bewegter Ladungsträger im Magnetfeld

Experiment zur  $\frac{e}{m}$ -Bestimmung nach Schuster

### **2.1.3. Elektromagnetisches Feld**

(10 Stunden)

Grundlagen aus den Klassen 9 und 10:

Qualitative Formulierung des Induktionsgesetzes; Generatorprinzip, elektromotorisches Prinzip; Transformator; Lenz'sches Gesetz; Selbstinduktion

Erzeugung einer Induktionsspannung im zeitlich konstanten Magnetfeld:

$$U_{\text{ind}} \sim \frac{dA}{dt}, B = \text{konst.} \neq 0 \quad (A \text{ als wirksame Fläche, } A = N \cdot A_0 \cdot \cos \alpha)$$

Erzeugung einer Induktionsspannung im zeitlich veränderlichen Magnetfeld:

$$U_{\text{ind}} \sim \frac{dB}{dt}, A = \text{konst.} \neq 0$$

Magnetischer Fluß:  $\Phi = B \cdot A$

**Induktionsgesetz:**  $U_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi}{dt}$

Interpretieren der Induktionsgesetzes, Planen von Experimentieranordnungen für den Nachweis der Abhängigkeit der Induktionsspannung von der zeitlichen Änderung (Änderungsgeschwindigkeit) einzelner Größen

Interpretieren eines  $\Phi$ - $t$ -Diagramms hinsichtlich der erzeugten Induktionsspannung

Erläutern wesentlicher Merkmale des Induktionsvorganges

Herleitung der Induktivität  $L$  einer Spule aus dem Induktionsgesetz:

$$L = \mu_0 \cdot \mu_{\text{rel}} \frac{N^2}{l} \cdot A_0$$

Einheit der Induktivität:  $1 \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A}} = 1 \text{ H}$

Lösen von Aufgaben zu Induktionsvorgängen

Wirkungsweise von Generator, Motor und Transformator; Zusammenhang von elektromotorischem Prinzip und Generatorprinzip; Stromstärke- und Spannungsverhältnisse am Transformator; Lenzsches Gesetz (Wiederholung Kl. 9 und 10)

Beschreiben der Energieumwandlungen in Generator, Motor und Transformator

Erläutern des Zusammenhangs zwischen dem Lenzschen Gesetz und dem Energieerhaltungssatz

Erklären von Vorgängen, bei denen Selbstinduktion auftritt

Beschreiben der Verknüpfung (Rückwirkung) der Felder bei Motor, Generator und Transformator

Zusammenfassung und Verallgemeinerung des Zusammenwirkens der Felder; Inhalt der beiden Maxwellschen Gleichungen in qualitativer Formulierung, Bedeutung der Maxwellschen Gleichungen, Zusammenhang dieser Gleichungen mit den in Klasse 10 behandelten elektromagnetischen Wellen

#### **Demonstrationsexperimente:**

Erzeugung von Induktionsspannungen im konstanten und veränderlichen Magnetfeld mit jeweils verschiedenen Experimentieranordnungen zur Veranschaulichung des Induktionsgesetzes

Nachweis der Abhängigkeit des erforderlichen Drehmoments eines Generators von dessen elektrischer Belastung (halbquantitativ)

Nachweis der Abhängigkeit der Ankerstromstärke eines Motors von dessen mechanischer Belastung (halbquantitativ)

Demonstration des Thomsonschen Ringexperiments

Oszillografische Darstellungen des  $i$ - $t$ -Diagramms einer Spule für

Ein- und Ausschaltvorgänge, Nachweis des Einflusses der Induktivität einer Spule auf den Kurvenverlauf

Demonstration der Verknüpfung eines sich verändernden magnetischen Feldes mit einem elektrischen Feld

**2.2. Elektrische Leitungsvorgänge** Phid. S. 513A **21 Stunden**

**2.2.1. Leitungsvorgänge im zeitlich konstanten elektrischen Feld**  
(5 Stunden)

Grundlagen aus den Klassen 8 und 9:

Ohmsches Gesetz; unverzweigter und verzweigter Stromkreis; Meßbereichserweiterung von Meßgeräten (qualitativ); elektrische Leitungsvorgänge in festen Körpern und im Vakuum

Allgemeines Modell des elektrischen Leitungsvorganges; Leitungsvorgänge in Metallen, Halbleitern und im Vakuum (Wiederholung Kl. 9)

Erklären der Leitungsvorgänge in festen Stoffen und im Vakuum

Leitungsvorgänge im metallischen Leiter bei einem zeitlich konstanten elektrischen Feld (Wiederholung Kl. 9), Einfluß der Temperaturänderung auf die Beweglichkeit der Ladungsträger (qualitativ), Bedingungen für die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes

Erläutern der qualitativen und quantitativen Merkmale des Widerstandsbegriffes

Erklären der Temperaturabhängigkeit des Widerstandes eines metallischen Leiters

Gesetzmäßigkeiten im unverzweigten und verzweigten Stromkreis (Wiederholung Kl. 8)

Erklären und Berechnen der Spannungs- und Stromstärkeverteilung im Gleichstromkreis bei Reihen- und Parallelschaltung zweier vorgegebener konstanter Widerstände

Innenwiderstand von Spannungs- und Strommesser, spannungs- bzw. stromrichtige Schaltung von Meßgeräten

Reihenschaltung eines konstanten und eines stellbaren Widerstandes im Gleichstromkreis

Erklären und Messen der jeweiligen Spannungs- und Stromstärkeverteilung bei systematischer Änderung des stellbaren Widerstandes

**Demonstrationsexperiment:**

Messungen bei Reihen- und Parallelschaltung

**Schülerexperiment:**

Bestimmen der Spannungen und Stromstärken bei Reihenschaltung



zweier Widerstände in Abhängigkeit vom Betrag des stellbaren Widerstandes bei konstanter Klemmenspannung

### 2.2.2 Leitungsvorgänge im elektrischen Wechselfeld (6 Stunden)

Grundlagen aus den Klassen 8, 9 und 10:

Widerstandsgesetz; Kapazität eines Kondensators; Spule und Kondensator im Wechselstromkreis; Kreisfrequenz; zeitlicher Verlauf von Spannung und Stromstärke

Momentan-, Maximal- und Effektivwert von Wechselspannung und Wechselstromstärke; Periode, Frequenz und Kreisfrequenz; Zusammenhänge zwischen diesen Größen (Wiederholung Kl. 10)

Einfluß des ohmschen Widerstandes auf die Stromstärke im Gleichstromkreis und im Wechselstromkreis, ohmscher Widerstand  $R = \frac{e \cdot l}{A}$ , zeitlicher Gleichlauf von Spannung und Stromstärke am ohmschen Widerstand (Wiederholung Kl. 8 und 10)

Einfluß von Kondensator und Spule auf die Stromstärke im Gleichstromkreis; Kapazität  $C$ , Abhängigkeit der Kapazität vom Bau eines Kondensators (qualitativ, Wiederholung Kl. 9 und 10)

Einfluß von Spule und Kondensator auf die Stromstärke im Wechselstromkreis; zeitliche Verschiebung von Spannung und Stromstärke an Spule und Kondensator (Wiederholung Kl. 10)

Frequenzabhängigkeit des kapazitiven Widerstandes und des induktiven Widerstandes (halbquantitativ), kapazitiver Widerstand  $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$ , induktiver Widerstand  $X_L = \omega \cdot L$

Beschreiben, Vergleichen und Erklären des Verhaltens von ohmschen Bauelementen, von Spule und Kondensator im zeitlich konstanten elektrischen Feld und im elektrischen Wechselfeld

Vergleich zwischen Gleich- und Wechselstromkreis hinsichtlich der Teilspannungen und der Gesamtspannung bei der Reihenschaltung von Widerständen; Hinweis auf die quantitative Fassung des Gesamtwiderstandes des Wechselstromkreises bei Reihenschaltung von  $R$ ,  $X_L$  und  $X_C$

#### Demonstrationsexperimente:

Demonstration des zeitlichen Gleichlaufs von Wechselspannungs- und Wechselstromstärkekurve bei einem ohmschen Bauelement

Demonstration der zeitlichen Verschiebung von Wechselspannungs- und Wechselstromstärkekurve bei Kondensator und Spule

Nachweis der Abhängigkeit der Wechselstromstärke  $I$  von der Kapazität eines Kondensators und von der Frequenz  $f$  bei konstanter Wechselspannung  $U$  an einem Kondensator (halbquantitativ)

Nachweis der Abhängigkeit der Wechselstromstärke  $I$  von der Induktivität  $L$  einer Spule und von der Frequenz  $f$  der Wechselspannung (halbquantitativ)

Messung der Effektivwerte der Teilspannungen  $U_R$ ,  $U_C$  und  $U_L$  sowie des Effektivwertes der Gesamtspannung  $U$  bei Reihenschaltung von  $R$ ,  $X_C$  und  $X_L$

### 2.2.3. Bauelemente mit speziellen $I$ - $U$ -Kennlinien

(4 Stunden)

Grundlagen aus der Klasse 9:

Leitung in Halbleitern; Halbleiterdiode

Eigenleitung und Störstellenleitung (Wiederholung Kl. 9).

Beweglichkeit und Konzentration wanderungsfähiger Ladungsträger in einem Bauelement als charakteristische Einflüsse auf den  $I$ - $U$ -Zusammenhang

Einfluß der Beweglichkeit der Leitungselektronen auf die  $I$ - $U$ -Kennlinie einer Glühlampe (Eigenerwärmung)

Einfluß der Beweglichkeit und Konzentration wanderungsfähiger Ladungsträger auf die  $I$ - $U$ -Kennlinie eines Thermistors (Eigenerwärmung)

Einfluß der Konzentration wanderungsfähiger Ladungsträger in der Grenzschicht und Einfluß der Polarität der angelegten Spannung auf die  $I$ - $U$ -Kennlinie einer Halbleiterdiode (bei konstanter Temperatur)

Erklären des unterschiedlichen Verlaufes der  $I$ - $U$ -Kennlinien von Metallen und Halbleitern

Erklären der Gleichrichterwirkung einer Halbleiterdiode anhand der  $I$ - $U$ -Kennlinie

Widerstand und  $I$ - $U$ -Kennlinien von Bauelementen

Diskutieren von  $I$ - $U$ -Kennlinien unter Beachtung des Widerstandsbegriffes

#### Demonstrationsexperimente:

Demonstration der Diodenkennlinie (oszillografische Darstellung) und des Gleichrichtereffektes

#### Schülerexperiment:

Aufnahme der  $I$ - $U$ -Kennlinien von Glühlampe, Thermistor und Halbleiterdiode

## 2.2.4. Steuerbare elektronische Bauelemente

(4 Stunden)

Grundlagen aus der Klasse 9:

Steuerwirkung einer Röhrentriode ( $I_A-U_G$ -Kennlinie)

Flächentransistor (Steuerwirkung in Emitterschaltung)

Prinzipielle Möglichkeiten der Steuerung durch äußere Beeinflussung:

Änderung der Beweglichkeit bzw. Konzentration der Ladungsträger durch Fremderwärmung (Metall- und Halbleiterwiderstandsthermometer als Beispiele)

Änderung des elektrischen Feldes innerhalb eines Bauelementes durch Variation einer Steuerspannung (Röhrentriode als Beispiel)

Änderung der Konzentration der Ladungsträger in n-p-Grenzschichten durch Variation eines Steuerstromes (Transistor als Beispiel)

Steuerkennlinien ( $I_A-U_G$ -Kennlinie und  $I_C-I_B$ -Kennlinie als Beispiele)

Verstärkereffekt am Beispiel des Leistungsverstärkers (geringe Steuerleistung – große gesteuerte Leistung)

Hinweise auf Anwendungen elektronischer Bauelemente als Schalter

Erklären innerer und äußerer Einflüsse auf einen elektrischen Leitungsvorgang

Diskutieren vorgegebener  $I-U$ -Kennlinien und Steuerkennlinien

### Demonstrationsexperiment:

Aufnahme der  $I_C-I_B$ -Steuerkennlinie eines Transistors

### Schülerexperiment:

Aufnahme des Stromstärke-Temperatur-Diagramms eines Thermistors bei konstanter Klemmenspannung

## 2.2.5. Anwendungen

(2 Stunden)

Auswahlbeispiele:

Überlagerung und Trennung von Gleich- und Wechselspannungen im Rahmen von Signalübertragungen

Gleichrichtung einer Wechselspannung mittels Diode und Glättung der pulsierenden Gleichspannung

Kleinsignalverstärkung mittels Transistor

Schwingungserzeugung mittels Transistor

### Demonstrationsexperimente:

Zu jedem ausgewähltem Beispiel ist ein Demonstrationsexperiment durchzuführen

### 3. Einige Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie 6 Stunden

In diesem Stoffgebiet werden einige Erkenntnisse der Physik behandelt, welche den Schülern die Gültigkeitsgrenzen der klassischen Mechanik deutlich machen. Mit dem Stoff, der durch Kursivschrift gekennzeichnet ist, werden die Schüler nur bekannt gemacht. Sicheres Wissen erwerben sie über die Lichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit, über die relativistische Masseveränderlichkeit, über die Masse-Energie-Beziehung und über die Anwendbarkeit der Masse-Energie-Beziehung auf den Umwandlungsprozeß bei der Paarzerstrahlung.

Zuerst wird den Schülern der Unterschied zwischen Bezugssystem und Koordinatensystem bewußt gemacht und der Begriff Inertialsystem erläutert.

Ausgehend von der Fragestellung nach der Allgemeingültigkeit des klassischen Additionsgesetzes für Geschwindigkeiten werden die Schüler durch die Erläuterung des Michelson-Experimentes an die experimentellen Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie herangeführt.

Aus der Konstanz und Invarianz der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit unter Einbeziehung eines Beispiels zur Relativität der Gleichzeitigkeit von Ereignissen wird die Relativität der Zeitmessung im Bereich hoher Geschwindigkeiten gefolgert und gezeigt, wie diese Erkenntnis experimentell überprüft wurde. Auf der Grundlage des Myonenzерfalls in der Luft-hülle und im Labor und von Hinweisen auf weitere Experimente wird die Relativität der Zeit- und Längenmessung als dialektische Raum-Zeit-Beziehung interpretiert. Im Zusammenhang mit dem relativistischen Additionsgesetz für Geschwindigkeiten ist herauszuarbeiten, daß das klassische Additionsgesetz für Geschwindigkeiten nur für kleine Relativgeschwindigkeiten gültig ist. Die Schüler sollen zur Einsicht geführt werden, daß die klassische Mechanik in der umfassenderen Theorie, der speziellen Relativitätstheorie, als Sonderfall enthalten ist.

Die relativistische Masseveränderlichkeit, die Einsteinsche Masse-Energie-Beziehung und einige damit in Verbindung stehende Begriffe der speziellen Relativitätstheorie werden mitgeteilt.

Am Beispiel der Paarzerstrahlung soll verdeutlicht werden, daß bei der Aufstellung der Energiebilanz dieses Prozesses die der Ruhmasse äquivalente Ruhenergie einbezogen werden muß: Den Schülern wird bewußt gemacht, daß Gesamtenergie, Gesamtladung und Gesamtimpuls erhalten bleiben, auch wenn sich die konkrete Erscheinung der an der Wechselwirkung beteiligten Objekte ändert (Umwandlung des Elektron-Positron-Paares in zwei  $\gamma$ -Quanten). In diesem Zusammenhang werden die Schüler erneut auf die für den Bereich der Physik wichtigen Erscheinungsformen der Materie Stoff und Feld hingewiesen.

Die Leistungen A. Einsteins bei der Entwicklung der Relativitätstheorie sind zu würdigen.

**Stoff:**

**Unterscheidung von Bezugssystem und Koordinatensystem**

**Inertialsysteme**

**Abhängigkeit einer Messung von der Wahl des Bezugssystems (klassisches Additionsgesetz für Geschwindigkeiten als Beispiel)**

**Konstanz und Invarianz der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit, Vakuum-Lichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit für die Energieübertragung, zum Beispiel in Form von Signalen (Michelson-Experiment als experimentelle Grundlage)**

**Relativität der Gleichzeitigkeit von Ereignissen und Relativität der Zeitmessung, Beispiele für die experimentelle Bestätigung der Relativität der Zeitmessung (Atomuhren im Flugzeug, Halbwertszeit von Myonen); Relativität der Längenmessung, Interpretation der Relativität der Zeit- und Längenmessung als dialektische Raum-Zeit-Beziehung am Beispiel des Myonenzerfalls**

**Relativistisches Additionsgesetz für Geschwindigkeiten:**

$$v = \frac{v' + u}{1 + \frac{v' \cdot u}{c^2}}$$

**Relativistische Masseveränderlichkeit:  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$ ,  $\beta = \frac{v}{c}$**

**Ruhmasse  $m_0$  und Masse  $m$ ,  $\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$  Diagramm**

**Beispiele für den Nachweis der relativistischen Masseveränderlichkeit**

**Masse-Energie-Beziehung, Zusammenhang zwischen Ruhenergie und Ruhmasse:  $E_0 = m_0 \cdot c^2$ , Zusammenhang zwischen frei werdender Energie und Ruhmasseänderung:  $\Delta E_0 = \Delta m_0 \cdot c^2$ , Masse-Energie-Beziehung bei Paarzerstrahlung als Beispiel**

**Gesamtenergie (Gesamtmasse), Gesamtladung und Gesamtimpuls als Erhaltungsgrößen; Ruhenergie und Ruhmasse als Größen, für die bei der Umwandlung von Teilchen kein Erhaltungsgesetz gilt**

**Gesamtenergie:  $E = m_0 \cdot c^2 + \frac{1}{2} m_0 \cdot v^2$ , Hinweis auf die Möglichkeit, diese Gleichung aus der  $m$ - $m_0$ -Beziehung herzuleiten**

**Berechnen der Ruhenergie bei Zerstrahlung eines Elektron-Positron-Paares**

**Würdigung A. Einsteins**

**Demonstrationsexperiment:**

**Demonstration der Paarzerstrahlung**

In diesem Stoffgebiet wird das von den Schülern in Klasse 10 erworbene Wissen über Elementarteilchen, Atomkerne und Kernreaktionen vertieft und durch Einbeziehung quantitativer Betrachtungen zur Nutzung der Kernbindungsenergie erweitert. Die Kernbindungsenergie wird als weitere Energieform in die den Schülern bereits bekannten Energieformen eingeordnet.

Als Grundlage für die Erarbeitung von Energieumwandlungen aus relativistischer Sicht wiederholen und erweitern die Schüler ihr Wissen aus Klasse 10 über Atomkerne und Elementarteilchen.

Den Schülern werden die Begriffe Kernkraft und Potentialtopf erläutert.

Die Schüler müssen in der Lage sein, die Freisetzung von Kernbindungsenergie durch Kernspaltung und Kernfusion mit Hilfe der Kernbindungsenergiekurve zu begründen und unter Anwendung der Einsteinschen Masse-Energie-Beziehung für einfache Beispiele zu berechnen.

Anknüpfend an das Wissen der Schüler über die Vorgänge bei der Paarerstrahlung wird im Zusammenhang mit der Behandlung der Kernspaltung und Kernfusion die im Staatsbürgerkundeunterricht vermittelte Erkenntnis von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie weiter verdeutlicht.

Im Zusammenhang mit der Behandlung der Kernspaltung und Kernfusion sind die Leistungen der sowjetischen Forschung auf dem Gebiet der friedlichen Nutzung der Kernenergie zu würdigen. Die Entdeckung der Uranspaltung durch Hahn und Strassmann (Wiederholung aus Klasse 10) ist in ihrer Bedeutung für die technische Erschließung der Kernenergie herauszustellen. Die hiermit im Zusammenhang stehenden aktuellen Fragen der Friedenspolitik sozialistischer Länder sind einzubeziehen. Die wissenschaftlichen Leistungen und die gesellschaftspolitische Haltung der Wissenschaftler O. Hahn und J. W. Kurtschatow sind zu würdigen.

Am Beispiel der Kernspaltung ist nochmals auf einige Erhaltungssätze, deren Verallgemeinerung und deren Bedeutung für die physikalische Forschung einzugehen.

#### **Stoff:**

Grundlagen aus der Klasse 10:

Proton, Neutron, Elektron, Positron als Beispiele für Elementarteilchen; Massezahl als Summe der Protonenzahl und Neutronenzahl eines Atomkerns; Symbolschreibweise (Elementsymbol mit Massezahl und Protonenzahl); Kernspaltung durch Anlagerung eines Neutrons an den  $^{235}\text{U}$ -Kern (Informationswissen); Kernkraftwerke der Deutschen Demokratischen Republik (Informationswissen)

Charakteristische Angaben für Atomkerne und Elementarteilchen: Massezahl, Protonenzahl, Neutronenzahl, atomare Masseinheit

Hinweis auf Kernkräfte und Potentialtopfmodell



**Mass-Energie-Beziehung** bei Kernspaltung und Kernfusion, Zusammenhang zwischen Kernbindungsenergie  $E_B$  und Änderung der Ruhmasse eines Elementarteilchensystems (Massedefekt  $\Delta m_0$ ):

$$E_B = \Delta m_0 \cdot c^2, \quad \Delta m_0 = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - m_{\text{Kern}}$$

### **Kernbindungsenergiekurve**

Berechnen der Kernbindungsenergie beim Aufbau eines Atomkerns aus Nukleonen

Begründen der Freisetzung von Kernbindungsenergie durch Kernspaltung schwerer Kerne und durch Kernfusion leichter Kerne aus dem Verlauf der Kernbindungsenergiekurve

Kernspaltung und Energiebilanz; Kernfusion und Energiebilanz; physikalisch-technische Bedingungen für die Realisierung der Kernspaltung und Kernfusion; Leistungen der sowjetischen Forschung bei der Nutzarmachung der Kernenergie (Kurtschatow); Kernkraftwerke der DDR; Würdigung der Forscherpersönlichkeiten O. Hahn und J. W. Kurtschatow

Berechnen der freigesetzten Kernbindungsenergie bei Kernspaltung und Kernfusion für einfache Beispiele

Erläutern notwendiger gesellschaftlicher Verhältnisse für die Verhinderung des Mißbrauchs der Kernenergie

Werten der fortschrittlichen Haltung der Wissenschaftler O. Hahn und J. W. Kurtschatow

Kernspaltung als Beispiel für die Erhaltung der Gesamtenergie, der Gesamtladung und des Gesamtimpulses (qualitativ)

Erläutern der bekannten Erhaltungssätze am Beispiel der Kernspaltung

## **5. Praktikum**

**8 Stunden**

Für das Praktikum in Klasse 12 gelten sinngemäß die Ziele und Hinweise wie für das Praktikum in Klasse 11.

Jeder Schüler hat mindestens ein Gruppenexperiment zu jedem dieser drei Schwerpunkte und mindestens ein Einzelexperiment durchzuführen.

Die in der Liste aufgeführten acht Einzelexperimente muß der Schüler zur Prüfung beherrschen.

Das Praktikum ist spätestens vor Beginn der schriftlichen Reifeprüfung abzuschließen.

### **Gruppenexperimente**

1. Bestimmung physikalischer Größen bei weitgehend selbständiger Bearbeitung der theoretischen Grundlagen

2. Bestimmen von Trägheitsmomenten mit dem Reifenapparat

- I/2 Bestimmen von Trägheitsmomenten mit einem Torsionsschwinger
- I/3 Bestimmen der Impulse beim geraden, zentralen, elastischen Stoß für zwei Kugeln mit gleichem Radius und unterschiedlicher Masse
- I/4 Messungen zur magnetischen Flußdichte im homogenen Magnetfeld einer Spule unter verschiedenen Bedingungen

## II. *Messung charakteristischer Größen elektrischer Bauelemente*

- II/1 Aufnehmen von Transistorkennlinien
- II/2 Bestimmen der Induktivität einer Spule in Abhängigkeit von der Eintauchtiefe eines Eisenkerns
- II/3 Aufnehmen der Entladungskurve eines Kondensators
- II/4 Bestimmen von ohmschen Widerständen mit unterschiedlichen Methoden

## III. *Experimente mit Wiederholungs- und Erweiterungscharakter aus der Optik unter Verwendung von Anleitungen mit verminderter Ausführlichkeit*

- III/1 Bestimmen der Brennweite von Linsen
- III/2 Bestimmen der Wellenlänge monochromatischen Lichtes unter Verwendung eines Doppelkeilspaltes
- III/3 Messungen zum äußeren lichtelektrischen Effekt
- III/4 Aufnehmen der Dispersionskurve eines Prismas

## **Einzelexperimente**

1. Bestimmen der Wärmekapazität eines Kalorimeters
2. Bestimmen spezifischer Wärmekapazitäten von Metallen
3. Bestimmen der Brechzahl von Glas und des Grenzwinkels der Totalreflexion
4. Bestimmen von Lichtwellenlängen und von Gitterkonstanten durch Interferenz
5. Untersuchen von Zusammenhängen zwischen Drehmoment, Trägheitsmoment und Winkelbeschleunigung
6. Bestimmen von Spannung und Stromstärke bei Reihenschaltung zweier Widerstände in Abhängigkeit vom Betrag eines stellbaren Widerstandes
7. Aufnehmen von Stromstärke-Spannung-Kennlinien von Bauelementen
8. Aufnehmen des Stromstärke-Temperatur-Diagramms eines Thermistors

**Kurzwort: 02 30 17 Lehrpl. Physik Abi  
DDR 0,65 M**