

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

**LEHRPLAN  
PHYSIK**

**Spezialschulen  
mathematisch–naturwissenschaftlich–technischer Richtung**

**1986**

Der Lehrplan für den Physikunterricht tritt  
in den Spezialschulen mathematisch–naturwissenschaftlich–  
technischer Richtung

für die Klassen 9 und 10

am 1. September 1986,

für die Klasse 11

am 1. September 1987,

für die Klasse 12

am 1. September 1988

in Kraft.

Berlin, April 1986

Stellvertreter des Ministers  
Parr

## ZIELE UND AUFGABEN

Im obligatorischen Physikunterricht werden die Schüler mit wissenschaftlichen Grundlagen und Anwendungen der Mechanik, der Elektrodynamik, der Thermodynamik, der Optik und der Atomphysik sowie mit einigen Erkenntnissen aus der speziellen Relativitätstheorie und aus der Astrophysik bekanntgemacht. Die Inhalte des Physiklehrganges sind wesentliche Voraussetzungen für das Verständnis von Vorgängen und Erscheinungen in der lebenden und nichtlebenden Natur, in der Technik und in der Produktion.

Im Mittelpunkt des Unterrichts steht der Erwerb soliden, anwendungsbereiten Wissens über grundlegende physikalische Gesetze und Arbeitsmethoden sowie über die zur Formulierung der Gesetze notwendigen Begriffe.

Bei der Behandlung der physikalischen Größen werden deren physikalische Bedeutung, Definition, Einheit und die Meßverfahren zur Bestimmung der jeweiligen Größe herausgearbeitet.

Bei der Erarbeitung und bei der Interpretation physikalischer Gesetze sind die in den Gesetzen ausgedrückten funktionalen Beziehungen zu analysieren und nach Möglichkeit grafisch darzustellen. Dabei lernen die Schüler auch Beispiele dafür kennen, daß ein und derselbe physikalische Sachverhalt mit unterschiedlichen mathematischen Mitteln beschrieben werden kann. Durch Anwendung der physikalischen Gesetze zum Erklären von Vorgängen, zum Vorhersagen ihres Verlaufs sowie zum Berechnen von Größen ist das Verständnis der Schüler für den physikalischen Inhalt mathematisch formulierter Zusammenhänge zu fördern.

Im Zusammenhang mit der Erarbeitung und Anwendung physikalischer Gesetze erkennen die Schüler, warum die Physik nach der Erkenntnis von Gesetzen strebt, wie durch Idealisierung der Übergang vom physikalischen Vorgang in der Natur zum mathematischen Modell erfolgt und worin der Vorteil mathematisch formulierter Gesetze besteht. Die Schüler erlangen Einsichten darüber, daß physikalische Gesetze unter bestimmten Bedingungen gelten und auf Vorgänge in Natur und Technik dann ange-

wendet werden können, wenn bei diesen Vorgängen die Bedingungen zumindest annähernd erfüllt sind.

Bei der Planung, Durchführung und Auswertung von Experimenten, bei der Arbeit mit Modellen, bei der Nutzung mathematischer Verfahren, bei der Erarbeitung und Anwendung physikalischer Gesetze lernen die Schüler, mit wesentlichen Methoden der Physik selbstständig und schöpferisch zu arbeiten. Durch diese Arbeit mit wissenschaftlichen Methoden vertiefen die Schüler ihre Einsichten in die Objektivität physikalischer Gesetze, in die Erkennbarkeit und materielle Einheit der Natur.

Im Prozeß der Aneignung und der Anwendung des physikalischen Wissens und Könnens sowie durch Vertiefung der wissenschaftlichen Weltanschauung werden Charakter- und Willenseigenschaften der Schüler geformt, die für die aktive Mitwirkung bei der weiteren Gestaltung der entwickelten sozialistischen Gesellschaft unverzichtbar sind. Dazu gehören insbesondere der Drang nach Erkenntnis, die Bereitschaft zum angestregten Lernen und Arbeiten, Mut zu phantasievollen und originellen Problemlösungen, Fleiß, Ausdauer, Beharrlichkeit, Gewissenhaftigkeit, Freude an eigener und kollektiver Leistung.

Im Physikunterricht kommt es darauf an, die Schüler zur selbständigen Auseinandersetzung mit physikalischen Inhalten, zur schöpferischen Lösung theoretischer und experimenteller Probleme zu befähigen. Dafür sind insbesondere auch die Schülerexperimente und das Praktikum sowie die im Lehrplan ausgewiesenen Stoffeinheiten "Übung und Anwendung" intensiv zu nutzen.

Beim Lösen von Aufgaben und bei der experimentellen Tätigkeit entwickeln die Schüler die Fähigkeit, planmäßig und zielstrebig vorzugehen. Die Durchführung und Auswertung der Experimente nehmen sie zunehmend selbständig vor. Die Schüler beachten die Meßfehler bei der Auswertung der Messungen, berechnen Mittelwerte und wenden Regeln für die Fehlerrechnung und Fehlerfortpflanzung an.

An geeigneten Stellen des Physikunterrichts regt der Lehrer die Schüler zu weitergehender selbständiger Beschäftigung mit Ergebnissen physikalischer Forschung an, wobei auch aktuelle Erkenntnisse der physikalischen Grundlagenforschung und moderne technische Anwendungen der Physik einbezogen werden.



Die Schüler erwerben die Fähigkeit, wissenschaftliche Literatur, Nachschlagewerke und Zeitschriften zur Aneignung und Festigung von Wissen zu nutzen. Anhand dieser Literatur sowie eigener theoretischer und experimenteller Untersuchungen sollen sie Vorträge über physikalische Themen halten. Darüber hinaus nehmen die Schüler an Diskussionen zu physikalischen und technischen Problemstellungen rege teil.

Für die didaktisch-methodische Arbeit im Physikunterricht wird empfohlen, Abschnitte für die intensive Informationsdarbietung theoretischer Grundlagen durch den Lehrer, für die Behandlung technischer Anwendungen der Physik, für die experimentelle Schülertätigkeit und für die selbständige Informationsaneignung durch die Schüler zu planen und zu gestalten.

Inhaltliche Beziehungen des Physikunterrichts zum Unterrichtsstoff anderer Fächer, insbesondere zu Mathematik, ESP, Chemie, Informatik, Geschichte und Staatsbürgerkunde, sind bei der Erarbeitung und Anwendung physikalischen Wissens und Könnens zu beachten.

Die zum Erreichen der Unterrichtsziele notwendigen Unterrichtsmittel sind vielfältig einzusetzen. Im Lehrplan ausgewiesene Experimente sind nicht nur bei der Arbeit am neuen Stoff, sondern auch bei der Motivation, Wiederholung, Übung, Systematisierung und Leistungskontrolle einzusetzen.

Im Physikunterricht sind die geltenden Bestimmungen für den Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz einzuhalten.<sup>1)</sup>

Die folgenden Angaben zum Inhalt des Unterrichts und die Reihenfolge der Stoffgebiete sind mit den angegebenen Stundenzahlen verbindlich. Die in Klammern gesetzten Stundenzahlen für die Stoffeinheiten sind Richtzahlen für den Lehrer.

Einige Schülerexperimente können als Demonstrationsexperimente durchgeführt werden. Sie sind mit (x) gekennzeichnet.

<sup>1)</sup> Anweisung Nr. 2/84 vom 1. Februar 1984 zum Gesundheits- und Arbeitsschutz sowie Brandschutz im naturwissenschaftlichen Unterricht und in der außerunterrichtlichen Arbeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften (VuM Nr. 2/84) in der Fassung der 2. Anweisung vom 12. September 1984 (VuM Nr. 8/84).

## STOFFÜBERSICHT

<b>K l a s s e 9</b>	<b>124 Stunden</b> =====
<b><u>1.     Elektrizitätslehre</u></b>	<b><u>105 Stunden</u></b>
1.1. Gleichstromkreis	28 Stunden
1.1.1. Ohmsches Gesetz und Kirchhoffsche Gesetze	(9 Stunden)
1.1.2. Messung von Stromstärke, Spannung und Widerstand	(6 Stunden)
1.1.3. Grundstromkreis	(6 Stunden)
1.1.4. Übung und Anwendung	(7 Stunden)
Leistungskontrolle	2 Stunden
1.2. Elektro- und Magnetostatik	24 Stunden
1.2.1. Elektrische Ladung und elektrisches Feld	(4 Stunden)
1.2.2. Kondensatoren	(6 Stunden)
1.2.3. Magnetostatik	(9 Stunden)
1.2.4. Übung und Anwendung	(5 Stunden)
Leistungskontrolle	2 Stunden
1.3. Elektromagnetische Induktion	20 Stunden
1.3.1. Induktionsgesetz	(7 Stunden)
1.3.2. Wechselstromgenerator und Transformator	(7 Stunden)
1.3.3. Übung und Anwendung	(6 Stunden)
Leistungskontrolle	2 Stunden
1.4. Elektrische Leitungsvorgänge	25 Stunden
1.4.1. Leitungsvorgänge in Metallen, Flüssigkeiten und Gasen	(4 Stunden)
1.4.2. Elektronische Vakuumbaulemente und deren Anwendungen	(6 Stunden)
1.4.3. Halbleiterbaulemente und deren Anwendungen	(15 Stunden)
Leistungskontrolle	2 Stunden
<b><u>2.     Mechanik</u></b>	<b><u>91 Stunden</u></b>
2.1. Kinematik	17 Stunden
2.1.1. Bewegung auf gerader Bahn	(7 Stunden)

2.1.2. Überlagerung von Bewegungen	(3 Stunden)
2.1.3. Bewegungen auf der Kreisbahn	(4 Stunden)
2.1.4. Übung und Anwendung	(3 Stunden)
Leistungskontrolle	2 Stunden

---

K l a s s e 1 0	113 Stunden =====
2.2. Dynamik	25 Stunden
2.2.1. Dynamik der geradlinigen Bewegung	(11 Stunden)
2.2.2. Dynamik der Kreisbewegung	(3 Stunden)
2.2.3. Gravitation	(8 Stunden)
2.2.4. Übung und Anwendung	(3 Stunden)
Leistungskontrolle	2 Stunden
2.3. Statik	5 Stunden
2.3.1. Starrer Körper, Schwerpunkt	(2 Stunden)
2.3.2. Drehmoment	(3 Stunden)
2.4. Arbeit, Energie, Leistung	17 Stunden
2.4.1. Mechanische Systeme	(2 Stunden)
2.4.2. Beschleunigungsarbeit und kinetische Energie	(3 Stunden)
2.4.3. Reibungsarbeit, Antriebsleistung bei Fahrzeugen	(3 Stunden)
2.4.4. Arbeit im Gravitationsfeld und potentielle Energie	(3 Stunden)
2.4.5. Arbeit und Energie an der Feder	(2 Stunden)
2.4.6. Übung und Anwendung	(4 Stunden)
Leistungskontrolle	2 Stunden
2.5. Kraftstoß und Impuls	11 Stunden
2.5.1. Zusammenhang von Kraftstoß und Impuls	(3 Stunden)
2.5.2. Impulserhaltung und Stoßvorgänge	(5 Stunden)
2.5.3. Übung und Anwendung	(3 Stunden)
2.6. Mechanik der Flüssigkeiten und Gase	8 Stunden
2.6.1. Ruhende Flüssigkeiten und Gase	(4 Stunden)
2.6.2. Strömende Flüssigkeiten und Gase	(4 Stunden)
Leistungskontrolle	2 Stunden

<b><u>3.</u></b>	<b><u>Praktikum</u></b>	<b><u>22 Stunden</u></b>
<b><u>4.</u></b>	<b><u>Schwingungen und Wellen</u></b>	<b><u>47 Stunden</u></b>
4.1.	Mechanische Schwingungen und Wellen	17 Stunden
4.1.1.	Mechanische Schwingungen	(7 Stunden)
4.1.2.	Mechanische Wellen	(7 Stunden)
4.1.3.	Übung und Anwendung	(3 Stunden)
	Leistungskontrolle	2 Stunden
<hr/>		
<b>K l a s s e</b>	<b>1 1</b>	<b>160 Stunden</b> <b>=====</b>
4.2.	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	26 Stunden
4.2.1.	Wechselstromwiderstände	(4 Stunden)
4.2.2.	Wechselstromkreis	(7 Stunden)
4.2.3.	Schwingkreis	(4 Stunden)
4.2.4.	Elektromagnetische Wellen	(7 Stunden)
4.2.5.	Übung und Anwendung	(4 Stunden)
	Leistungskontrolle	2 Stunden
<b><u>5.</u></b>	<b><u>Optik</u></b>	<b><u>42 Stunden</u></b>
5.1.	Wellenoptik	18 Stunden
5.1.1.	Reflexion, Brechung, Beugung	(4 Stunden)
5.1.2.	Interferenz	(6 Stunden)
5.1.3.	Polarisation	(5 Stunden)
5.1.4.	Übung und Anwendung	(3 Stunden)
	Leistungskontrolle	2 Stunden
5.2.	Strahlenoptik	20 Stunden
5.2.1.	Strahlmodell, Fermatsches Prinzip	(4 Stunden)
5.2.2.	Prismen, Spiegel, Linsen	(9 Stunden)
5.2.3.	Das Auge und der Sehvorgang	(1 Stunde)
5.2.4.	Optische Geräte	(3 Stunden)
5.2.5.	Übung und Anwendung	(3 Stunden)
	Leistungskontrolle	2 Stunden

<u>6.</u>	<u>Thermodynamik</u>	<u>56 Stunden</u>
6.1.	Zustandsgleichung des idealen Gases	15 Stunden
6.1.1.	Thermodynamische Systeme	(2 Stunden)
6.1.2.	Phänomenologische Betrachtung idealer Gase	(3 Stunden)
6.1.3.	Kinetisch-statistische Betrachtung idealer Gase	(4 Stunden)
6.1.4.	Zusammenhänge zwischen phänomenologischer und kinetischer Betrachtungsweise	(3 Stunden)
6.1.5.	Übung und Anwendung	(3 Stunden)
6.2.	Erster Hauptsatz	19 Stunden
6.2.1.	Wärme, Kalorimetrie	(4 Stunden)
6.2.2.	Volumenarbeit bei idealen Gasen	(2 Stunden)
6.2.3.	Erster Hauptsatz und seine Anwendung auf ideale Gase	(4 Stunden)
6.2.4.	Carnotscher Kreisprozeß, thermischer Wirkungsgrad	(3 Stunden)
6.2.5.	Technische Kreisprozesse	(3 Stunden)
6.2.6.	Übung und Anwendung	(3 Stunden)
	Leistungskontrolle	2 Stunden
6.3.	Zweiter Hauptsatz	7 Stunden
6.3.1.	Umwandlung thermischer Energie, zweiter Hauptsatz	(3 Stunden)
6.3.2.	Entropie	(4 Stunden)
6.4.	Thermodynamisches Verhalten der Stoffe	11 Stunden
6.4.1.	Lineare und kubische Ausdehnung	(2 Stunden)
6.4.2.	Phasenumwandlungen, Umwandlungswärme	(4 Stunden)
6.4.3.	Transport thermischer Energie in Stoffen	(3 Stunden)
6.4.4.	Übung und Anwendung	(2 Stunden)
	Leistungskontrolle	2 Stunden
<u>7.</u>	<u>Relativitätstheorie</u>	<u>10 Stunden</u>
7.1.	Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie	4 Stunden
7.2.	Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie	6 Stunden

<u>8.</u>	<u>Praktikum</u>	<u>48 Stunden</u>
8.1.	Praktikum Klasse 11	24 Stunden
<hr/>		
K l a s s e	1 2	174 Stunden =====
8.2.	Praktikum Klasse 12	24 Stunden
<u>9.</u>	<u>Atomphysik</u>	<u>36 Stunden</u>
9.1.	Elektronenhülle	14 Stunden
9.1.1.	Strahlungsgesetze, äußerer lichtelektrischer Effekt	(3 Stunden)
9.1.2.	Energieniveaus der Hüllenelektronen, Spektren	(6 Stunden)
9.1.3.	Lasers	(3 Stunden)
9.1.4.	Übung und Anwendung	(2 Stunden)
9.2.	Atomkerne	20 Stunden
9.2.1.	Aufbau der Atomkerne	(3 Stunden)
9.2.2.	Spontane Kernumwandlungen	(4 Stunden)
9.2.3.	Künstliche Kernumwandlungen	(6 Stunden)
9.2.4.	Wechselwirkung der Kernstrahlung mit Stoffen	(4 Stunden)
9.2.5.	Übung und Anwendung	(3 Stunden)
	Leistungskontrolle	2 Stunden
<u>10.</u>	<u>Astrophysik</u>	<u>18 Stunden</u>
10.1.	Sonne	5 Stunden
10.2.	Sterne	6 Stunden
10.3.	Sternsysteme	3 Stunden
10.4.	Übung und Anwendung	2 Stunden
	Leistungskontrolle	2 Stunden
<u>11.</u>	<u>Mechanik</u>	<u>48 Stunden</u>
11.1.	Mechanik des Massepunktes	20 Stunden
11.1.1.	Bewegung auf einer Geraden	(3 Stunden)
11.1.2.	Bewegung in der Ebene	(2 Stunden)
11.1.3.	Bewegungsgleichung	(3 Stunden)

11.1.4. Kraftstoß und Impuls	(2 Stunden)
11.1.5. Arbeit und Energie	(4 Stunden)
11.1.6. Übung und Anwendung	(6 Stunden)
11.2. Mechanik des starren Körpers	25 Stunden
11.2.1. Statik des starren Körpers	(5 Stunden)
11.2.2. Rotation eines starren Körpers um eine feste Achse	(14 Stunden)
11.2.3. Übung und Anwendung	(6 Stunden)
Leistungskontrolle	3 Stunden
<u>12. Elektrodynamik</u>	<u>48 Stunden</u>
12.1. Das statische elektrische Feld	19 Stunden
12.1.1. Elektrische Ladungen	(2 Stunden)
12.1.2. Elektrische Feldstärke und elektrische Verschiebung	(2 Stunden)
12.1.3. Arbeit, Potential und Spannung	(3 Stunden)
12.1.4. Kapazität und elektrische Feldenergie	(3 Stunden)
12.1.5. Übung und Anwendung	(9 Stunden)
12.2. Das statische magnetische Feld	14 Stunden
12.2.1. Magnetische Flußdichte und magnetische Feldstärke	(4 Stunden)
12.2.2. Lorentzkraft	(3 Stunden)
12.2.3. Übung und Anwendung	(7 Stunden)
Leistungskontrolle	3 Stunden
12.3. Elektromagnetische Induktion	12 Stunden
12.3.1. Verallgemeinerung zum Induktionsgesetz	(3 Stunden)
12.3.2. Selbstinduktion	(3 Stunden)
12.3.3. Übung und Anwendung	(6 Stunden)



## INHALT DES UNTERRICHTS

K l a s s e 9

1. Elektrizitätslehre  
=====

105 Stunden  
=====

Aufbauend auf dem in Klasse 8 erworbenen Wissen wird zunächst die Behandlung der Gesetzmäßigkeiten in unverzweigten und verzweigten Stromkreisen vertieft. Dazu werden die Vorleistungen des Mathematikunterrichts bis zur Klasse 8 über Gleichungen, grafische Darstellungen und lineare Funktionen genutzt. Die Behandlung der Elektrizitätslehre in Klasse 9 stellt eine wichtige Vorleistung dar für die Behandlung von Leistungselektrik, Informationsverarbeitung sowie Steuerungs- und Automatisierungsprozessen im ESP-Unterricht, elektrischer Schwingungen und Wellen im Physikunterricht der Klasse 11 und der Elektrodynamik in Klasse 12.

Im gesamten Unterricht der Klasse 9 nimmt die experimentelle Tätigkeit der Schüler breiten Raum ein. Das Planen eines Experimentes, das Durchführen der Messungen, das Gewinnen und grafische Darstellen von Meßwertreihen, das Formulieren von Gesetzen und das Durchführen von Fehlerbetrachtungen sind im gesamten Lehrgang sowohl bei Schüler- als auch bei Demonstrationsexperimenten den Schülern als Bestandteile des Experimentierens bewußtzumachen. Die Fähigkeiten und Fertigkeiten der Schüler hierzu sind schrittweise zu erhöhen.

Bei der Behandlung des Gleichstromkreises werden die Schüler am Beispiel der Stromstärke-, Spannungs- und Widerstandsmessungen mit Problemen des Meßprozesses, mit den Arten von Meßfehlern und mit dem Vorgehen bei der Auswertung experimenteller Untersuchungen vertraut gemacht. Vielfachmeßgeräte und der Oszillograf müssen zu sicher beherrschten Meßmitteln der Schüler werden.

Bei der Behandlung des Grundstromkreises lernen die Schüler die Ersatzschaltung als Mittel zur Vereinfachung kennen. Die Gesetze des Grundstromkreises ermöglichen den Schülern ein



tieferes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Stromstärke und Spannung an den Eingangs- und Ausgangsklemmen elektronischer Schaltungen in verschiedenen Belastungsfällen, insbesondere bei Leerlauf, Kurzschluß und Leistungsanpassung.

Bei den elektro- und magnetostatischen Feldern erfolgt neben der Beschreibung mit dem Feldlinienmodell eine quantitative Erfassung durch die Feldgrößen Elektrische Feldstärke  $E$  und Magnetflußdichte  $B$ . Dabei wird das in beiden Fällen analoge Vorgehen herausgearbeitet, Felder durch ihre Wirkung auf einen geeigneten Probekörper zu beschreiben. Anhand des Coulombschen Gesetzes, das den Schülern mitgeteilt wird, ist auf die Problematik der Fernwirkungstheorie der Kräfte und der Nahwirkungstheorie unter Einbeziehung der Felder einzugehen. Durch Ermitteln der Energie geladener Kondensatoren wird das Feld als Träger von Energie verdeutlicht.

Die Erarbeitung des Induktionsgesetzes erfolgt auf der Grundlage experimenteller Untersuchungen. Besondere Sorgfalt ist bei der Behandlung der erstmalig auftretenden Differenzenquotienten (im Sinne von Änderungsgeschwindigkeiten) notwendig.

Die Schüler erkennen, daß die entstehenden Induktionsspannungen ihre Ursachen in der Ladungstrennung infolge Lorentzkraft oder in der Entstehung elektrischer Felder bei zeitlicher Änderung des Magnetfeldes haben können.

Ihre Kenntnisse über die Induktion wenden die Schüler auf die Spule, den Transformator und den Generator an.

Zur Anwendung ihres Wissens über die Gesetze in Gleichstromkreisen und über den elektrischen Leitungsvorgang werden abschließend einige ausgewählte Bauelemente der Elektronik behandelt. Dabei lernen die Schüler Möglichkeiten kennen, wie der elektrische Leitungsvorgang durch Ströme und Spannungen, aber auch durch Licht und Wärme gesteuert werden kann.

In dieser Stoffeinheit sind die vielfältigen Beziehungen zum ESP-Unterricht und zur produktiven Arbeit zu nutzen. Die Schüler vervollkommen ihre im ESP-Unterricht erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten im Entwickeln und Lesen von Schaltplänen. Dabei ist auch im Physikunterricht stets auf Verwendung TGL-gerechter Schaltzeichen zu achten.

## 1.1. Gleichstromkreis

28 Stunden

### 1.1.1. Ohmsches Gesetz und Kirchhoffsche Gesetze

(9 Stunden)

Stromstärke, Spannung und elektrischer Widerstand

Ohmsches Gesetz:  $U \sim I$ ,  $U = R \cdot I$

Widerstand und Anstieg der Kennlinie  $U = f(I)$

Untersuchungen zur Temperaturabhängigkeit des Widerstandes, lineare Näherung bei kleinen Temperaturdifferenzen

$R_T = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$ ; Beispiele für positive und negative Temperaturkoeffizienten (Metalle, Halbleiter)

Aktiver und passiver Zweipol, Masche und Knoten als Bestandteile eines elektrischen Netzwerkes

Unterscheiden von Urspannung, EMK und Spannungsabfall

Zusammenhang zwischen Klemmenspannung und Klemmenstrom am Zweipol, lineare und nichtlineare Zweipole

Die Kirchhoffschen Gesetze: Knotensatz, Maschensatz (Verallgemeinerung der Kenntnisse aus Klasse 8), Anwendung der Kirchhoffschen Gesetze auf unverzweigte und verzweigte Stromkreise, Spannungs- und Stromteilerregel für zwei und mehr Widerstände

$$U_1/U_2 = R_1/R_2 \text{ bzw. } R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2$$

Ersatzwiderstand (Gesamtwiderstand) bei Reihen- und Parallelschaltung von mehreren Widerständen:  $R_g = R_1 + \dots + R_n$  bzw.

$$1/R_g = 1/R_1 + \dots + 1/R_n; \text{ Leitwert } G = 1/R$$

Gemischte Schaltung von Widerständen und deren Gesamtwiderstand

Aufbau und Wirkungsweise einer Potentiometerschaltung, Gesetzmäßigkeiten am unbelasteten und belasteten Potentiometer

Meßbereichserweiterung bei Spannungs- und Strommessern, Berechnen von Vor- und Nebenwiderständen

Schülerexperiment:

.....

Aufnahmen von I (U)- und U (I)-Kennlinien für lineare und für nichtlineare passive Zweipole

Erarbeiten oder Überprüfen der Spannungsteilerregel

Erarbeiten oder Überprüfen der Stromteilerregel  
Überprüfen von berechneten Gesamtwiderständen  
Untersuchen der Abhängigkeit der Teilspannungen am  
belasteten Potentiometer vom Lastwiderstand (x)

Demonstrationsexperiment:

.....  
Temperaturabhängigkeit verschiedener Widerstände  
U(I)-Kennlinie eines aktiven Zweipols  
Potentiometerschaltung (verschiedene Belastungen)  
Vor- und Nebenwiderstände zur Anpassung der Betriebs-  
daten eines Bauelements an die Bedingungen im Strom-  
kreis

1.1.2. Messung von Stromstärke, Spannung und Widerstand (6 Stunden)

Der Meßvorgang als Wechselwirkung zwischen Meßapparatur und Meßobjekt, Meßergebnis: physikalische Größe

Meßfehler (grobe, zufällige, systematische), Beispiele für Meßfehler, absoluter und relativer Fehler, Genauigkeitsklassen bei Meßinstrumenten

Graphische Darstellung von Meßergebnissen, Aufnahme von Meßreihen

Methoden der Strom- und Spannungsmessung (direkte Strommessung, Spannungsabfallmethode, indirekte Spannungsmessung, Kompensationsmethode)

Einfluß des Innenwiderstandes  $R_1$  der Meßinstrumente, Leistung  $I^2 \cdot R_1$  bzw.  $U^2/R_1$ , die am Meßgerät auftritt, Forderungen an Strom- bzw. Spannungsmeßgeräte

Widerstandsmethoden: gleichzeitige Strom- und Spannungsmessung, systematischer Fehler hierbei, begründete Auswahl von strom- bzw. spannungsrichtiger Schaltung; Wheatstonesche Meßbrücke, Funktionsweise und technische Ausführung

Schülerexperimente:  
.....

Strom- und Spannungsmessungen an vorgegebenen Netzwerken,  
Verwendung von Spannungsmessern mit verschieden großem  
Innenwiderstand

Bestimmen von Widerständen durch Strom- und Spannungs-  
messung unter Beachtung von strom- bzw. spannungsrichtiger  
Schaltung

Demonstrationsexperimente:  
.....

Störungen des Meßobjektes (realer Stromkreis) durch das  
Einfügen von Meßapparaturen

Kompensationsmethode zur Spannungsmessung

Wheatstonesche Meßbrücke

1.1.3. Grundstromkreis

(6 Stunden)

Ersatzschaltungen an Stelle realer elektrischer Schaltungen  
Spannungsquellen, die sich als lineare aktive Zweipole beschrei-  
ben lassen, Ersatzschaltung der Spannungsquelle

Urspannung und Innenwiderstand als charakteristische Größen  
Klemmenspannung  $U = f(I)$ , Ermitteln des Anstieges und des  
Absolutgliedes dieser linearen Funktion durch Auswerten der  
extremen Betriebszustände Kurzschluß und Leerlauf, Gewinnen  
von  $U = U_0 - R_1 \cdot I$

Passive lineare Zweipole, ihre Kennlinie und ihre Funktions-  
gleichung  $U = R_a \cdot I$

Grundstromkreis als Zusammenschaltung von aktivem und passivem  
Zweipol, Herleitung von  $I = U_0 / (R_1 + R_a)$ ; Möglichkeiten zur  
experimentellen Bestimmung von  $U_0$  und  $R_1$

Leistung im Grundstromkreis, Gesamtleistung als Summe von inne-  
rer und äußerer Leistung; Herleitung von

$$P_a = \frac{U_0^2 \cdot R_a}{(R_1 + R_a)^2}$$

Diskutieren der Fälle  $R_1 = R_a$ ,  $R_a \rightarrow 0$  und  $R_a \rightarrow \infty$

**Demonstrationsexperimente:**  
.....

Abhängigkeit der Klemmenspannung von der Belastung

Abhängigkeit der äußeren Leistung vom Lastwiderstand

1.1.4. Übung und Anwendung

(7 Stunden)

Berechnen des Widerstandes in Abhängigkeit von der Temperatur

Berechnen des Gesamtwiderstandes, der Teilspannungen und Teilströme an gegebenen Netzwerken aus Spannungsquellen und ohmschen Widerständen

Arbeitsschritte beim Erkennen von Widerständen aus Blackbox-Experimenten

Zerlegen eines gegebenen einfachen Netzwerkes in einen Schaltungsteil aktiver Zweipol und einen Schaltungsteil passiver Zweipol, dadurch Rückführung des gegebenen Netzwerkes auf den Grundstromkreis, Berechnen der Kenngrößen  $U_0$ ,  $R_1$  und  $R_a$  der Ersatzschaltung, Anwenden des daraus resultierenden Verfahrens Zweipoltheorie

**Schülerexperimente:**  
.....

Überprüfen berechneter Gesamtwiderstände, Teilspannungen und Teilströme

Erkennen von Widerständen aus Blackbox-Experimenten mit Zweipolen (die ohmsche Bauelemente und Halbleiterdioden enthalten) und mit Vierpolen (die einige ohmsche Bauelemente enthalten)

Leistungskontrolle

2 Stunden

1.2. Elektro- und Magnetostatik

24 Stunden

1.2.1. Elektrische Ladung und elektrisches Feld

(4 Stunden)

Elektrische Ladung  $Q$ , Elementarladung  $e$ , vom Strom transportierte Ladung  $Q = I \cdot t$

Ladungstrennung, Ladungsverteilungen auf Körpern; Gesetz von der Erhaltung der elektrischen Ladung

Kraftwirkung auf eine Probeladung  $q$  im Raumgebiet um eine Ladung  $Q$ ; Kräfte zwischen punktförmigen Ladungen  
Coulombsches Gesetz  $F = q \cdot Q / (4\pi\epsilon \cdot r^2)$

Elektrisches Feld, Feld als Träger von Energie, Feldstärke  $E = F/q$ , Hinweis auf Feldstärke als Vektor

Feldlinienbilder zur modellmäßigen Erfassung des Feldes; Hinweis auf das Vorhandensein von Quellen und Senken; homogenes Feld, Feldlinienbilder bei verschieden geformten Elektroden, Faradayscher Käfig, elektrisch neutrale Körper im elektrischen Feld (Polarisation, Influenz); Hinweis auf die elektrische Verschiebung  $D = Q/A$  als weitere Feldgröße  
Beispiele für elektrische Felder in Natur und Technik

Demonstrationsexperimente:  
.....

Kraftwirkungen auf geladene Körper im elektrischen Feld

Ladungstrennung durch Influenz

Feldlinienbilder

### 1.2.2. Kondensatoren

(6 Stunden)

Kondensator als Speicher elektrischer Ladungen, Proportionalität zwischen gespeicherter Ladung  $Q$  und Spannung am Kondensator  $Q \sim U$ ;

Kapazität  $C = Q/U$

Homogenes Feld im Inneren eines Kondensators, Herleitung von  $E = \frac{U}{l}$

Arbeit  $W$  beim Laden eines Kondensators:  $W = \frac{1}{2} Q \cdot U$  und  $W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$ , Speicherung dieser Arbeit als elektrische Energie im elektrischen Feld des Kondensators

Kapazität eines Plattenkondensators  $C = \epsilon \cdot \frac{A}{l}$

Änderung der Kapazität beim Einfügen verschiedener Stoffe

$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ ; relative Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r = \frac{C_M}{C_V}$



$I_C(t)$  und  $U_C(t)$  beim Laden und Entladen von Kondensatoren unterschiedlicher Kapazität über unterschiedlich große Widerstände

Technische Kondensatoren

Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren, Gesetze  $1/C_g = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n$  und  $C_g = C_1 + \dots + C_n$ , Verteilung der Ladungen und der Spannungen bei verschiedenen Zusammenschaltungen von Kondensatoren

Anwendungen von Kondensatoren in der Technik

Demonstrationsexperimente:

Proportionalität  $Q \sim U$  am Kondensator

Proportionalitäten  $C \sim A$ ,  $C \sim 1/l$  am Plattenkondensator

Einfluß des Dielektrikums auf die Kapazität

Schülerexperiment:

$I_C(t)$  und  $U_C(t)$  beim Laden und Entladen eines Kondensators über einen Vorwiderstand ( $x$ )

### 1.2.3. Magnetostatik

(9 Stunden)

Kraftwirkung zwischen Dauermagneten, Dipolcharakter

Oersted-Versuch, Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen Leitern, Feldlinienmodell, Feldlinienbilder eines geraden stromdurchflossenen Leiters, eines kreisförmigen Leiters und einer Zylinderspule; magnetische Feldlinien als geschlossene Wirbel

Kompaß, Magnetfeld der Erde

Kraft auf ein stromdurchflossenes Leiterstück im homogenen Magnetfeld; Magnetflußdichte  $B = \frac{F}{I \cdot l}$

Lorentzkraft  $F_L = I \cdot l \cdot B$ , elektromotorisches Prinzip

Ablenkung von frei fliegenden Elektronen im Magnetfeld

$$F_L = q \cdot v \cdot B$$

Magnetflußdichte in einer geraden stromdurchflossenen Spule

$$B = \mu \cdot I \cdot \frac{N}{l}$$

Verhalten verschiedener Stoffe im Magnetfeld, Permeabilität  
 $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ , ferromagnetische Stoffe

Hinweis auf die magnetische Feldstärke  $H = B/\mu$

Magnetfeld als Träger von Energie

Hinweis auf supraleitende Spulen

Elektromagnete in der Technik (Lasthebemagnet, elektromagnetisch betätigte Schalter und Ventile, Klingel)

Aufbau und Wirkungsweise von Dreheisen- und Drehspulinstrumenten

Aufbau und Wirkungsweise des Gleichstrommotors (Permanentfeld- und Reihenschlußmotor)

Demonstrationsexperimente:

.....  
Oersted-Versuch

Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen Leitern

Feldlinienbilder von geraden Leitern, stromdurchflossenen Spulen und Dauermagneten

Kraftwirkung auf stromdurchflossenes Leiterstück im Magnetfeld, Richtungszusammenhang

Kraftwirkung auf Probemagneten in einer geraden langen Spule in Abhängigkeit von I, N und l

Wirkungsweise eines Drehspulinstrumentes

Wirkungsweise eines Gleichstrommotors

#### 1.2.4. Übung und Anwendung

(5 Stunden)

Berechnen der Gesamtkapazität gemischter Schaltungen von Kondensatoren, Ermitteln der Ladungsverteilungen und Spannungen

Berechnen der Kapazität von Plattenkondensatoren

Diskutieren des Einflusses von A und l sowie verschiedener Dielektrika auf die Größen U, E,  $\varphi$  und C des Plattenkondensators

Anwenden des Kondensators zur Trennung von Gleich- und Wechselspannung und zum Glätten

Berechnungen zur Lorentzkraft und zur Magnetflußdichte



Schülerexperiment:  
.....

Untersuchen der Spannungen bei Reihen- und bei  
Parallelschaltungen von Kondensatoren (x)

Leistungskontrolle

2 Stunden

1.3. Elektromagnetische Induktion

20 Stunden

1.3.1. Induktionsgesetz

(7 Stunden)

Entstehen einer Induktionsspannung bei geeigneter Bewegung eines Leiters in einem Magnetfeld durch Ladungsverschiebung infolge Lorentzkraft, weitere Möglichkeiten zur Erzeugung von Induktionsspannungen, Abhängigkeit der Induktionsspannung von den Änderungsgeschwindigkeiten  $\frac{\Delta B}{\Delta t}$  und  $\frac{\Delta A}{\Delta t}$ , Richtungsbeziehungen zwischen verursachendem und induziertem Magnetfeld; Lenzsches Gesetz als Konsequenz des Energieerhaltungssatzes

$$\text{Induktionsgesetz } U = - N \cdot \frac{\Delta (B \cdot A)}{\Delta t}$$

Wirbelströme, Anwendung und Vermeidung von Wirbelströmen in der Technik (Wirbelstrombremse, geblätterter Eisenkern von Spulen)

$$\text{Selbstinduktion } U = - L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}; \text{ Induktivität } L \text{ der Spule}$$
$$L = \mu \cdot N^2 \cdot \frac{A}{l}$$

Ein- und Ausschaltvorgänge an Spulen im Gleichstromkreis, technische Bedeutung der Selbstinduktion  
Leben und Wirken von Michael Faraday

Schülerexperiment:  
.....

Untersuchen verschiedener Möglichkeiten zum Erzeugen einer Induktionsspannung in einer Spule

Demonstrationsexperimente:  
.....

Möglichkeiten zur Erzeugung einer Induktionsspannung durch Bewegen eines Leiters im Magnetfeld

Abhängigkeit der Induktionsspannung von den Änderungsgeschwindigkeiten der wirksamen Fläche und der Magnetflußdichte

## Ringversuch

### Waltenhofensches Pendel

Nachweis der Abschaltungsspannungsspitze und des verzögerten Stromflusses beim Einschalten an einer Spule  
Abhängigkeit der Induktivität von den Spulengrößen

### 1.3.2. Wechselstromgenerator und Transformator (7 Stunden)

Erzeugung von Wechselspannung durch elektromagnetische Induktion: Aufbau und Wirkungsweise eines Wechselstromgenerators (Innenpolmaschine); Anschluß eines ohmschen Lastwiderstandes, Energieumwandlungen

$u(t)$ - und  $i(t)$ -Diagramme; Maximalwert (Amplitude)  $\hat{U}$ , zeitliche Periode  $T$ , Frequenz  $f = 1/T$ ; Effektivwerte von Stromstärke  $I$  und Spannung  $U$ ,

Messung von Wechselspannungen und Wechselströmen

Aufbau und Wirkungsweise eines Transformators; Spannungsübersetzung am idealen Transformator  $U_1/U_2 = N_1/N_2$ ; Stromübersetzung am idealen Transformator  $I_1/I_2 = N_2/N_1$

Transformation von Spannungen und Strömen am realen Transformator; Energieumwandlungen am realen Transformator, Wirkungsgrad

Transformatoren in der Technik (Netztransformator, Schweißtransformator, Zündspule im Kfz, Hochspannungstransformator, Trenntransformator)

Schülerexperimente:

.....

Untersuchen der Spannungsübersetzung am Transformator (x)

Untersuchen der Stromübersetzung am Transformator (x)

Demonstrationsexperimente:

.....

Wechselstromgenerator, oszillografische Darstellung  $u(t)$

Transformatoren in der Technik, Modellversuche zur Anwendung von Transformatoren

### 1.3.3. Übung und Anwendung (6 Stunden)

Berechnen von Induktions- und Selbstinduktionsspannungen mit dem Induktionsgesetz

Anwenden des Induktionsgesetzes auf den MHD-Generator  
Berechnen von Spannungs- und Stromübersetzungen am idealen  
Transformator

Schülerexperiment:  
.....

Wirkungsgrad eines Transformators

Leistungskontrolle 2 Stunden

1.4. Elektrische Leitungsvorgänge 25 Stunden

1.4.1. Leitungsvorgänge in Metallen, Flüssig-  
keiten und Gasen (4 Stunden)

Wiederholung zu den Leitungsvorgängen und zum Modell der  
Elektronenleitung in Metallen

Elektrische Leitung in Flüssigkeiten, Ohmsches Gesetz für  
Flüssigkeiten; Hinweis auf Faradaysche Gesetze

Elektrische Leitung in Gasen in Abhängigkeit vom Druck;  
selbständige und unselbständige Leitung in Gasen

Leuchterscheinungen, Lichtbogen, Gasentladungsröhren (tech-  
nische Ausführungen, energiewirtschaftliche Aspekte)

Verallgemeinerung zum elektrischen Leitungsvorgang in verschie-  
denen Medien

Spezifische elektrische Leitfähigkeit  $\kappa = \frac{1}{\rho}$ ; qualitative Be-  
trachtungen zur Abhängigkeit der spezifischen elektrischen  
Leitfähigkeit von der Konzentration der Ladungsträger, ihrer  
Driftgeschwindigkeit sowie zum Temperatureinfluß

Schülerexperiment:  
.....

Untersuchen der Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für  
Flüssigkeiten ( $\kappa$ )

1.4.2. Elektronische Vakuumbaulemente und  
deren Anwendungen (6 Stunden)

Aufbau, Wirkungsweise und Anwendungen der Fozelle und des  
Sekundärelektronenvervielfachers (SEV)

Aufbau und Wirkungsweise der Elektronenstrahlröhre (Erzeugung

von freien Elektronen durch Glühemission, Beschleunigen und Bündeln der Elektronen durch elektrische Felder, Steuerung des Elektronenstromes durch das Gegenfeld Katode - Wehneltzylinder, elektrostatische oder -magnetische Strahlablenkung, Leuchtschirm)

Blockschaltbild und Funktion der Baugruppen eines Oszillografen, Anwendungen des Oszillografen

Schülerexperimente:  
.....

- Messen von Gleich- und Wechselspannungen mit dem Oszillografen
- Darstellen von zeitabhängigen Spannungen mit dem Oszillografen
- Aufnehmen der Kennlinien an Zweipolen mit dem Oszillografen

Demonstrationsexperimente:  
.....

- Wirkungsweise der Vakuumfotозelle
- Wirkungsweise und Anwendungen des Oszillografen
- Wirkungsweise und Anwendung des SEV

1.4.5. Halbleiterbauelemente und deren Anwendungen (15 Stunden)

Leitungsvorgang in Halbleitern am Beispiel von Silizium

Einfluß von Licht und Temperatur auf Konzentration und Driftgeschwindigkeit der Ladungsträger

Dotieren; technische Probleme der Herstellung von Reinststoffen und des Dotierungsprozesses sowie der Kristallzüchtung

Aufbau, Funktion und Anwendungen von Thermistoren und Fotowiderständen

p-n-Übergang (ladungsträgerverarmte Grenzschicht, Diffusionsfeld), Schalten des p-n-Übergangs in Durchlaß- und Sperrrichtung durch äußere Felder, Kennlinie, Hinweis auf Z-Dioden

Aufbau, Anwendungen und Funktion von HL-Dioden

Erwärmung der Grenzschicht bei Rekombination der Elektronen-Loch-Paare, Lichtabstrahlung bei Rekombination

Aufbau, Funktion und Anwendungen von Leuchtdioden (LED);  
Beeinflussung der Breite der Ladungsträgerverarmten Grenz-  
schicht durch Erhöhen der Sperrspannung, Anwendung in der  
Kapazitätsdiode; Hinweis auf Fotodiode

Bipolarer Transistor (npn) als stromgesteuertes Bauelement;  
Aufbau des Transistors; Steuerwirkung  $I_C(I_B)$ ; Beschreiben des  
elektrischen Verhaltens mit Hilfe des Kennlinienfeldes (Trans-  
istor als Vierpol in Emitterschaltung)  $I_B(U_{BE})$ ,  $I_C(I_B)$ ,  
 $I_C(U_{CE})$

Hinweis auf Fototransistor

Anwendungen des Transistors als Schalter und als aktives Bau-  
element im Kleinsignalverstärker, Festlegen des Arbeitspunktes,  
Dimensionierung der Basis- und Kollektorwiderstände  $R_B$  und  
 $R_C$ , Spannungsverstärkung

Feldeffekttransistor (FET) als spannungsgesteuertes Bauelement,  
Aufbau am Beispiel MOSFET; Kennlinien des FET, Anwendungen,  
Hinweis auf integrierte Schaltungstechnik

#### Schülerexperimente:

- .....
- Untersuchen der Abhängigkeit des Fotostromes beim  
Fotowiderstand von der Beleuchtungsstärke
- Aufnehmen der Steuerkennlinien  $I_C(I_B)$  und anderer Kenn-  
linien eines npn-Transistors
- Dimensionieren eines Kleinsignal-Verstärkers bei be-  
kanntem Kennlinienfeld, Kontrollieren des Arbeitspunktes,  
Messen der Spannungsverstärkung

#### Demonstrationsexperimente:

- .....
- Leitfähigkeit von reinem und von dotiertem Silizium
- Transistorkennlinien auf dem Oszillografen (bipolar  
und FET)
- $I(U)$ -Kennlinie von LED verschiedener Farbe, Dimensio-  
nieren des Vorwiderstandes

Leistungskontrolle

2 Stunden

Aufbauend auf dem Wissen der Schüler aus der Klasse 6 über die Größe Geschwindigkeit und über die Gesetze der gleichförmigen Bewegung erfolgt in der Stoffeinheit "Kinematik" eine Festigung, Vertiefung und Erweiterung.

Die Benutzung von Bezugssystemen, die Definition geeigneter physikalischer Größen und deren Messung sowie die Idealisierung von Körpern durch das Modell Massepunkt werden von den Schülern als notwendig erkannt, um bei der Untersuchung von Bewegungen in Natur und Technik Gesetze erkennen und formulieren zu können.

In Vorbereitung der vektoriellen Beschreibung mechanischer Vorgänge in Klasse 12 erfolgt die Beschreibung des Ortes und der Ortsveränderung eines Massepunktes mit einer Koordinate und deren zeitlicher Änderung. Der Unterschied zwischen der Ortskoordinate, ihrer Veränderung und dem zurückgelegten Weg wird herausgearbeitet.

Die Schüler beherrschen die mathematische Beschreibung der Gesetzmäßigkeiten der geradlinig gleichförmigen Bewegung mittels linearer Gleichungen. Sie sind in der Lage, den Anstieg des Grafen einer Funktion  $x(t)$  zu interpretieren und die physikalische Bedeutung des Flächeninhalts unter dem Grafen der Funktion  $v(t)$  zu deuten.

Zur Beschreibung der zeitlichen Änderung der Geschwindigkeit lernen die Schüler die Größe Beschleunigung kennen. Die Gesetze der gleichmäßig beschleunigten Bewegung sind auch auf die Fälle einer von Null verschiedenen Anfangsgeschwindigkeit auszuweiten. Der Interpretation der Grafen der Funktionen  $x(t)$ ,  $v(t)$  und  $a(t)$  wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Am Beispiel der Ermittlung der Fallbeschleunigung  $g$  wird auf die Bedeutung des Mittelwertes bei einer Vielzahl von Messungen der gleichen Größe eingegangen.

Bei der Überlagerung von Bewegungen bestimmen die Schüler zeichnerisch und rechnerisch (unter Nutzung ihrer Kenntnisse aus der



Trigonometrie) sowohl resultierende Wege und Geschwindigkeiten als auch deren Komponenten in vorgegebenen Richtungen. Die Kreisbewegung, als Bewegung in einer Ebene mit einem zweidimensionalen kartesischen Koordinatensystem beschrieben, wird bis zum Fall der linear zunehmenden Bahngeschwindigkeit behandelt. Neben den Bahngrößen lernen die Schüler auch die entsprechenden Winkelgrößen kennen. Dabei wird auf die Strukturgleichheit der Gesetze bei der Formulierung mit Bahngrößen einerseits und Winkelgrößen andererseits eingegangen.

In der Stoffeinheit "Dynamik" wird an das Wissen der Schüler aus den Klassen 6 und 7 über Kräfte angeknüpft und durch Wiederholen und Systematisieren auf die Möglichkeit des axiomatischen Aufbaues der Mechanik hingewiesen. Die im Newtonschen Grundgesetz ausgedrückten Zusammenhänge werden experimentell untersucht. Die Schüler lernen die Gleichwertigkeit von Inertialsystemen kennen und werden mit der Einführung von Trägheitskräften bei beschleunigten Bezugssystemen bekanntgemacht. Am Beispiel des freien Falls und der Bewegung an geneigten Ebenen erfolgt das Formulieren von Bewegungsgleichungen.

Bei der Behandlung der Dynamik der Kreisbewegung erkennen die Schüler die gleichförmige Kreisbewegung als Bewegung mit konstantem Betrag der Radialkraft. Unterschiede in der Beschreibung solcher Bewegungen durch ruhende oder mitbewegte Beobachter werden herausgearbeitet.

In der Stoffeinheit "Gravitation" werden auch Elemente der Himmelsmechanik behandelt. Die Schüler lernen die Keplergesetze und ihre Anwendung auf die Bewegung künstlicher Erdsatelliten kennen. Im Zusammenhang mit dem Newtonschen Gravitationsgesetz erfolgt die quantitative Beschreibung des Gravitationsfeldes einer Masse durch die Kraftwirkung auf einen Probekörper. Die Fallbeschleunigung übernimmt die Rolle der Gravitationsfeldstärke.

Auf Analogien zur Beschreibung der elektro- und magnetostatischen Felder wird hingewiesen. Die Schüler sind in der Lage, die erste

kosmische Geschwindigkeit und die Masse von Himmelskörpern zu berechnen.

In der Stoffeinheit "Statik" lernen die Schüler das Modell "Starrer Körper" und den Begriff "Schwerpunkt" kennen. Sie sind in der Lage, bei einfachen Systemen von Massepunkten die Schwerpunktkoordinaten zu berechnen, und kennen die Möglichkeit zur experimentellen Bestimmung des Schwerpunktes. Mit Hilfe der Größe Drehmoment können die Schüler die Bedingungen für das Gleichgewicht eines starren Körpers formulieren.

Im Zusammenhang mit den Größen Arbeit, Energie und Leistung wird die Unterscheidung von Zustands- und Prozeßgrößen an mechanischen Systemen eingeführt. Die Schüler lernen den fundamentalen Zusammenhang  $W = \Delta E$  zwischen der skalaren Prozeßgröße Arbeit und der Änderung der skalaren Zustandsgröße Energie kennen und deuten die Fälle  $W > 0$  und  $W < 0$  physikalisch. Sie sind in der Lage, die mechanische Arbeit bei konstanter Kraft und beliebigem Winkel zwischen Kraft- und Wegrichtung zu berechnen. Die Leistung wird als Geschwindigkeit des Energietransportes über die Systemgrenze eingeführt.

Die Zusammenhänge zwischen Beschleunigungsarbeit und kinetischer Energie, zwischen Arbeit im Gravitationsfeld und potentieller Energie sowie zwischen Arbeit und Energie an der gespannten Feder können die Schüler quantitativ ausdrücken. Sie sind in der Lage, das Gesetz von der Erhaltung der Energie auf mechanische Systeme anzuwenden.

Mit den Größen "Kraftstoß" und "Impuls" lernen die Schüler ein weiteres Paar von Prozeß- und entsprechender Zustandsgröße kennen. Die Größen werden als vektorielle Größen behandelt und der Gesamtimpuls durch geometrische Addition von Teilimpulsen gebildet. Die Schüler lernen den Gesamtimpuls als Erhaltungsgröße kennen und wenden ihre Kenntnisse auf Fälle von geraden zentralen Stößen an. Die Gesetze für die Geschwindigkeiten zweier Körper nach dem Stoß werden mit Hilfe der entsprechenden Erhaltungssätze hergeleitet.

In der Stoffeinheit "Mechanik der Flüssigkeiten und Gase" erweitern und vertiefen die Schüler ihre Kenntnisse aus Klasse 7. Sie können Auftriebskräfte und Schweredrucke berechnen, diskutie-



ren die Bedingungen für stabiles Gleichgewicht beim Schwimmen mit Hilfe ihrer Kenntnisse aus der Statik. Die Gesetze reibungsfrei strömender Flüssigkeiten und Gase lernen die Schüler in Form der Kontinuitätsgleichung und der Bernoullischen Gleichung kennen und anwenden. Sie erwerben Kenntnisse über die Messung von Drücken und Strömungsgeschwindigkeiten.

## 2.1. Kinematik

17 Stunden

### 2.1.1. Bewegungen auf gerader Bahn

(7 Stunden)

Bewegung als Ortsveränderung eines Körpers in einem Bezugssystem, Unterschied zwischen Translation und Rotation eines Körpers

Modell Massepunkt

Beurteilung von Bahnverlauf und Bewegungsart in Abhängigkeit vom Bezugssystem (Relativität der Bewegung)

Orientierte Gerade mit Nullpunkt und Längeneinheit (Koordinatenachse) als Bezugssystem, Beschreibung der aktuellen Lage eines Massepunktes mit Hilfe einer Ortskoordinate  $x$  als Funktion der Zeit  $t$ , Weg  $s = x - x_0$  für Bewegungen ohne Änderung der Richtung (des Richtungssinns)

Augenblicksgeschwindigkeit  $v = \Delta x / \Delta t$ , Unterschied zwischen Durchschnitts- und Augenblicksgeschwindigkeit, Geschwindigkeit als Vektor

Gleichförmige Bewegung ( $v = \text{konstant}$ ); Ort-Zeit-Diagramm, Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm; Gleichungen (für  $t_0 = 0$ ):

$x = x_0 + v \cdot t$ ,  $s = v \cdot t$ ; Interpretation der Fläche unter dem Grafen  $v(t)$  und des Anstieges des Grafen  $x(t)$

Beschleunigte Bewegung ( $v \neq \text{konstant}$ ), Beschleunigung  $a = \Delta v / \Delta t$   
Beschleunigung als Vektor

Gleichmäßig beschleunigte Bewegung ( $a = \text{konstant}$ ); Ort-Zeit-Diagramm, Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm, Beschleunigung-Zeit-Diagramm; Gleichungen (für  $t_0 = 0$ ):  $v = v_0 + a \cdot t$  (Geschwindigkeit-Zeit-Gesetz),  $x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$  (Ort-Zeit-Gesetz) und  $s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$  (Weg-Zeit-Gesetz); Interpretation

der Fläche unter dem Grafen  $v(t)$  und des Anstieges des Grafen  $v(t)$

Freier Fall, reale Fallbewegungen, Bestimmung der Fallbeschleunigung  $g$ , Bildung des Mittelwertes aus mehreren Messungen von  $g$ , Orts- und Höhenabhängigkeit von  $g$

Leben und Werk von Galileo Galilei

**Schülerexperimente:**  
.....

Untersuchen des Zusammenhanges von Ort und Zeit bei gleichmäßig beschleunigter Bewegung

**Demonstrationsexperimente:**  
.....

Relativität der Bewegung von Körpern

Weg-Zeit-Gesetz der gleichförmigen Bewegung

Bestimmung von Durchschnitts- und Augenblicksgeschwindigkeiten (durch Weg- und Zeitmessungen, durch direkte Geschwindigkeitsmessung) bei gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegungen

Geschwindigkeit-Zeit- und Weg-Zeit-Gesetz der gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Bestimmung der Beschleunigung bei gleichmäßig beschleunigten Bewegungen (u. a. freier Fall)

Fallbewegungen

Weg-Zeit-Gesetz beim freien Fall

2.1.2. Überlagerung von Bewegungen

(3 Stunden)

Überlagerung von Bewegungen, Superpositionsprinzip

Überlagerung zweier gleichförmiger Bewegungen längs derselben Geraden und längs zweier zueinander senkrechter Geraden, geometrische und rechnerische Ermittlung des resultierenden Weges  $s$

und der resultierenden Geschwindigkeit  $v$ , Ermittlung der Komponenten des Weges und der Geschwindigkeit längs bekannter Richtungen

Senkrechter Wurf nach oben und unten, Steighöhe  
Waagerechter Wurf, Bahngleichung  $y = y_0 - \frac{g \cdot x^2}{2 v_0^2}$

Ausblick auf den schrägen Wurf, Wurfweite; Hinweis auf die Ballistik und ihre Bedeutung in der Militärtechnik

Demonstrationsexperimente:

Senkrechter Wurf

Bestimmung der Anfangsgeschwindigkeit durch Messung der Steighöhe beim senkrechten Wurf nach oben

Wurfparabel beim waagerechten Wurf

Wurfweite beim schrägen Wurf in Abhängigkeit vom Abwurfwinkel und von der Abwurfgeschwindigkeit

### 2.1.3. Bewegungen auf der Kreisbahn (4 Stunden)

Mathematische Beschreibung der Kreisbahn:  $x^2 + y^2 = r^2$ ;  
 $r = \text{konstant}$ ,  $\varphi(t)$

Gleichung für den Kreisbogen  $b(t) = \varphi(t) \cdot r$

Winkelgeschwindigkeit  $\omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ , Zusammenhang zwischen Bahn- und Winkelgeschwindigkeit  $v_b = \omega \cdot r$

Gleichförmige Kreisbewegung ( $v_b = \text{konstant}$ ,  $\omega = \text{konstant}$ ),  
Gleichung  $\varphi(t) = \varphi_0 + \omega \cdot t$  (für  $t_0 = 0$ ) in Analogie zum Ort-Zeit-Gesetz der Bewegung auf einer Geraden

Umlaufzeit  $T$ , Umlauffrequenz (Drehzahl)  $n = \frac{1}{T}$ , Gleichungen  
 $\omega = 2\pi \cdot n$  und  $v_b = \frac{2\pi \cdot r}{T}$

Bahngeschwindigkeit als Vektor, Gleichungen  $a_r = \frac{v^2}{r}$  und  
 $a_r = \omega^2 \cdot r$

Beschleunigte Kreisbewegung ( $v_b \neq \text{konstant}$ ,  $\omega \neq \text{konstant}$ )

Winkelbeschleunigung  $\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ , Bahnbeschleunigung  $a_b = \alpha \cdot r$

Gleichmäßig beschleunigte Kreisbewegung ( $\alpha = \text{konstant}$ ,  
 $t_0 = 0$ ):  $\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t$ ,  $\varphi(t) = \varphi_0 + \omega \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$

Analogiebetrachtungen zu der Bewegung auf einer Geraden

Demonstrationsexperimente:

Bestimmung von Bahngeschwindigkeiten, Umlaufzeiten und Umlauffrequenzen bei gleichförmiger Kreisbewegung (Nutzung des stroboskopischen Effekts)

Bestimmung von Bahngeschwindigkeiten und Bahnbeschleunigungen bei der gleichmäßig beschleunigten Kreisbewegung

#### 2.1.4. Übung und Anwendung

(3 Stunden)

Berechnen von Wegen, Zeiten, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen bewegter Körper

Zeichnen und Interpretieren von Bewegungsdiagrammen

Berechnen von Wegen und Geschwindigkeiten bei zusammengesetzten Bewegungen

Leistungskontrolle

2 Stunden

2.2. Dynamik

25 Stunden

2.2.1. Dynamik der geradlinigen Bewegung

(11 Stunden)

Wiederholung und Vertiefung der Kenntnisse über Kräfte  
Kraft als Vektor, Wechselwirkungsgesetz, Trägheitsgesetz,  
Hinweis auf Newtonsches Grundgesetz, Hinweis auf axiomatischen  
Aufbau der Mechanik

Zusammensetzen von Kräften (zeichnerisch, rechnerisch), Zerlegen einer Kraft in Komponenten längs bekannter Richtungen  
Kräftezerlegung an der geneigten Ebene:  $F_H = F_G \cdot \sin \alpha$ ,  
 $F_N = F_G \cdot \cos \alpha$

Newtonsches Grundgesetz  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ , Unterscheiden von Fehlerarten bei Messungen  $a \sim F$  und  $a \sim \frac{1}{m}$ , dynamische Kraftmessung, Anwendungen des Newtonschen Grundgesetzes

Inertialsysteme, Trägheitskräfte in beschleunigten Bezugssystemen (Translation)

Gewichtskraft  $\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$ , (Unterscheiden zwischen Gewichtskraft und der Kraft, mit der ein Körper auf seine Unterlage wirkt)

Bewegungsgleichung beim freien Fall  $m \cdot a = m \cdot g$  ( $g = \text{konstant}$ ) und bei der geneigten Ebene  $m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha$

Federspannkraft

Hookesches Gesetz ( $\Delta F = -k \cdot \Delta x$ ),  $F - x$  - Diagramm, Hinweis auf Zusammensetzung zweier gleicher Federn

Reibungskraft

Haft-, Gleit-, Rollreibung; Reibungskraft  $F_R = \mu \cdot F_N$ ,  
Reibungskoeffizienten für Haft-, Gleit- und Rollreibung,  
Bestimmung von Reibungskoeffizienten an der geneigten Ebene:  
 $\mu = \tan \alpha$ , Hinweis auf Fahrwiderstandszahl

Schülerexperimente:

.....  
Zusammensetzen von zwei Kräften zu einer resultierenden Kraft

Zerlegen einer Kraft in Komponenten gegebener Richtungen

Untersuchen der Zusammenhänge  $a \sim F$  ( $m = \text{konstant}$ ) und

$a \sim \frac{1}{m}$  ( $F = \text{konstant}$ ) ( $x$ )

Bestimmen der Federkonstante einer Schraubenfeder

Bestimmen von Haft- und Gleitreibungskoeffizienten

durch Winkelmessung an der geneigten Ebene

Demonstrationsexperimente:

Abhängigkeit der Wirkung einer Kraft von Betrag,  
Angriffspunkt und Richtung (Richtungssinn)

Wechselwirkung zwischen mindestens zwei Körpern

Zusammensetzung zweier gleicher Federn (hintereinander,  
nebeneinander)

### 2.2.2. Dynamik der Kreisbewegung

(3 Stunden)

Kreisbewegung als Sonderfall einer Zentralbewegung

Gleichförmige Kreisbewegung, Radialkraft  $F_r = m \cdot \omega^2 \cdot r$  und

$F_r = \frac{m \cdot v_b^2}{r}$ , Radialkräfte in Natur und Technik

Bahn und Bewegungsart bei Unterbrechung der Zentralkraft vom  
ruhenden und vom mitbewegten Beobachter aus beurteilt, Träg-  
heitskräfte im mitbewegten Bezugssystem (Fliehkraft, Hinweis  
auf Corioliskraft)

Demonstrationsexperiment:

Messung der Radialkraft bei der gleichförmigen Kreis-  
bewegung in Abhängigkeit von Masse, Bahnradius und  
Umlaufzeit

### 2.2.3. Gravitation

(8 Stunden)

Historische Entwicklung des heliozentrischen Weltbildes

Keplersetze der Planetenbewegung

Brennpunkte, Halbachse und lineare Exzentrizität einer Ellipse,  
Ellipsengleichung

Bahnparameter der Planeten unseres Sonnensystems, astronomische Einheit  
Keplergesetze bei Bewegungen von Satelliten um Zentralkörper  
Gravitationskraft als Zentralkraft, Newtonsches Gravitationsgesetz, Gravitationskonstante  $\gamma$ , Bestimmung der Gravitationskonstanten, Berechnung der Masse von Himmelskörpern

Gravitationsfeld, Fallbeschleunigung  $g$  als Feldstärke des Gravitationsfeldes, Fallbeschleunigung an der Oberfläche von Sonne, Erde und Mond, Begriff "Schwerelosigkeit"

Erste kosmische Geschwindigkeit, Hinweis auf die zweite und dritte kosmische Geschwindigkeit

Leben und Werk von Isaac Newton

Demonstrationsexperiment:

.....

Modellierung der Zentralbewegung von Himmelskörpern mit Luftkissentisch und magnetischen Kräften

#### 2.2.4. Übung und Anwendung

(3 Stunden)

Berechnung von Kräften bei der Kurvenfahrt von Fahrzeugen (Bezugssystem Straße, Bezugssystem Fahrzeug), Kurvenüberhöhung  
Untersuchungen an der Atwoodschen Fallmaschine  
Gleichgewicht an der geneigten Ebene unter Einbeziehung der Reibung

#### Leistungskontrolle

2 Stunden

#### 2.3. Statik

5 Stunden

##### 2.3.1. Starrer Körper, Schwerpunkt

(2 Stunden)

Gleichgewicht am Massepunkt; Gleichgewicht, wenn am realen Körper mehrere Kräfte angreifen; Wiederholung des Hebelgesetzes  
Modell "Starrer Körper", Schwerpunkt eines starren Körpers, Koordinaten des Schwerpunktes  
Bestimmung der Koordinaten des Schwerpunktes bei Systemen aus mehreren Massepunkten in einfacher geometrischer Anordnung, experimentelle Bestimmung des Schwerpunktes, Schwerelinie



**Schülerexperiment:**  
.....

Bestimmen des Schwerpunktes flächenhafter Körper

**Demonstrationsexperimente:**  
.....

Gleichgewicht am Körper, an dem mehrere Kräfte  
verschiedener Richtung angreifen

Drehung eines Körpers beim Angreifen eines antiparallelen  
Kräftepaars

Bestimmung des Schwerpunktes

2.3.2. Drehmoment

(3 Stunden)

Drehmoment an einem starren Körper  $M = F \cdot r_g$  mit  $r_g =$   
 $r \cdot \sin \varphi$  ( $\vec{r}$ ,  $\vec{F}$ ) bei raum- und körperfester Achse

Links- und rechtsdrehende Drehmomente, Gleichgewichtsbedingung  
für den starren Körper

Standmoment, Kippmoment

**Schülerexperiment:**  
.....

Ermitteln des Gleichgewichts am starren Körper

**Demonstrationsexperimente:**  
.....

Gleichgewicht am Hebel

Drehmoment am starren Körper

Kippen eines Körpers

2.4. Arbeit, Energie, Leistung

17 Stunden

2.4.1. Mechanische Systeme

(2 Stunden)

Mechanische Systeme (offene, geschlossene und abgeschlossene),  
Zustandsgrößen, Zustandsänderungen

Arbeit  $W$  als skalare Prozeßgröße, Energie  $E$  als Zustandsgröße,  
 $W = \Delta E$

Mechanische Arbeit bei konstanter Kraft  $W = F \cdot s \cdot \cos \varphi$  ( $\vec{F}$ ,  $\vec{s}$ )

Leistung  $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ , Wirkungsgrad  $\eta = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$



#### 2.4.2. Beschleunigungsarbeit und kinetische Energie

(3 Stunden)

Beschleunigungsarbeit einer konstanten Kraft an einem nur längs einer horizontalen Geraden beweglichen Systems  $W_R = \frac{m}{2} \cdot (v_e^2 - v_a^2)$

Kinetische Energie  $E_k = \frac{m}{2} \cdot v^2 + E_{k0}$ , Abhängigkeit der kinetischen Energie vom Bezugssystem

Demonstrationsexperiment:

Zusammenhang zwischen Beschleunigungsarbeit und Änderung der kinetischen Energie eines Wagens auf horizontaler Bahn

#### 2.4.3. Reibungsarbeit, Antriebsleistung bei Fahrzeugen

(3 Stunden)

Reibungsarbeit zur Charakterisierung der (irreversiblen) Umwandlung mechanischer in thermische Energie  $W_R = -\mu \cdot F_N \cdot s$

Beispiele für das Verrichten von Reibungsarbeit eines Systems,  $W_R = \Delta E_k$  beim Bremsen von Fahrzeugen

Leistung bei konstanter Geschwindigkeit des Fahrzeuges und konstanter Kraft  $P = F \cdot v$ , Antriebsleistung von Fahrzeugen zur Überwindung des Fahrwiderstandes

Demonstrationsexperiment:

Verrichten von Reibungsarbeit durch Verringerung der kinetischen Energie

#### 2.4.4. Arbeit im Gravitationsfeld und potentielle Energie

(3 Stunden)

Arbeit im Gravitationsfeld der Erde  $W_G = -m \cdot g \cdot (y_e - y_a)$

Potentielle Energie  $E_p = m \cdot g \cdot y + E_{p0}$ , Abhängigkeit der potentiellen Energie vom Bezugssystem

Hubarbeit  $W_H = -W_G$

$\Delta E_p + \Delta E_k = 0$ ,  $E_p + E_k = \text{konstant}$  im abgeschlossenen System

Erde - Körper, Erhaltung der Gesamtenergie für abgeschlossene mechanische Systeme

Anwendungen des Gesetzes von der Erhaltung der Energie auf mechanische Vorgänge

Demonstrationsexperimente:

Zusammenhang zwischen potentieller und kinetischer Energie bei reibungsfreier Bewegung eines Wagens auf der geneigten Ebene

Energieumwandlungen am Fadenpendel

#### 2.4.5. Arbeit und Energie an der Feder (2 Stunden)

Federkraft bei horizontaler Lage  $F_F = -k \cdot x$  (für  $x_0 = 0$ ),  
mittlere Federkraft  $\bar{F}_F = (F_e + F_a)/2$

Arbeit durch die Federkraft  $W_F = -\frac{k}{2} \cdot (x_e^2 - x_a^2) = -\Delta E_p$   
mit  $E_p = \frac{k}{2} x^2$

Beschleunigungsarbeit durch die Federkraft  $W_F = -\Delta E_k$

Erhaltung der Energie im mechanischen System Feder - Körper

Demonstrationsexperiment:

Energieumwandlungen am horizontalen Federschwinger

#### 2.4.6. Übung und Anwendung (4 Stunden)

Bestimmung der notwendigen Anfangshöhe zum vollständigen Durchfahren einer Schleifenbahn

Bewegung von Fahrzeugen auf der geneigten Ebene

Bewegung von Fahrzeugen unter Beachtung der Reibung

Anwenden des Gesetzes von der Erhaltung der Energie auf Wurfbewegungen

Berechnen von Beschleunigungs-, Reibungs-, Hub- und Feder-spannarbeit

Herleiten spezieller Gesetze für mechanische Bewegungen

Leistungskontrolle

2 Stunden

## 2.5. Kraftstoß und Impuls

11 Stunden

### 2.5.1. Zusammenhang von Kraftstoß und Impuls

(3 Stunden)

Änderung des Bewegungszustandes eines Systems durch Einwirken einer zeitabhängigen Kraft,  $F(t)$  - Diagramm, Interpretation der Fläche unter dem Grafen  $F(t)$

Kraftstoß  $\vec{S} = \vec{F} \cdot \Delta t$  bei konstanter Kraft,  $\vec{S} = m \cdot \Delta \vec{v}$

Impuls  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$  als Vektor

Zusammenhang zwischen der Prozeßgröße  $\vec{S}$  und der Änderung der Zustandsgröße  $\vec{p}$ :  $\vec{S} = \Delta \vec{p}$ ; Analogie zum Größenpaar Arbeit und Energie

Gesamtimpuls  $\vec{p}_G = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n$  eines Systems mehrerer Massepunkte

### 2.5.2. Impulserhaltung, Stoßvorgänge

(5 Stunden)

Gesetz von der Erhaltung des Impulses

Satz von der Erhaltung des Schwerpunkts als Folgerung aus dem Impulserhaltungssatz, Anwendungen auf Raketenbewegung, Rückstoß bei Feuerwaffen, Mehrfachsprengköpfe; Hinweis auf Anwendungen bei Kernumwandlungen

Impulserhaltung beim geraden, zentralen Stoß zweier Körper

Ideal unelastischer Stoß,  $m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) \cdot u$ ,  
Fallunterscheidungen bezüglich Masse und Geschwindigkeit

Ideal elastischer Stoß,  $u_1 + v_1 = u_2 + v_2$ ,

$$u_1 = \frac{(m_1 - m_2) \cdot v_1 + 2 m_2 v_2}{m_1 + m_2}, \quad u_2 = \frac{(m_2 - m_1) \cdot v_2 + 2 m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

Fallunterscheidungen bezüglich Masse und Geschwindigkeit

Ausblick auf einfache nichtgerade und nichtzentrale Stöße

Demonstrationsexperimente:

Bestätigung des Impulserhaltungssatzes

Elastischer und unelastischer Stoß

### 2.5.3. Übung und Anwendung

(3 Stunden)

Berechnen der Schubkraft einer Rakete bei bekanntem Massestrom und bekannter Ausströmgeschwindigkeit der Gase

Berechnen von Anfangs- und Endgeschwindigkeiten beim zentralen, geraden, unelastischen Stoß

Berechnen von Geschwindigkeiten beim zentralen, geraden, elastischen Stoß

Bestimmen von Geschoßgeschwindigkeiten (Stoßpendel, Reibungsarbeit)

### 2.6. Mechanik der Flüssigkeiten und Gase

8 Stunden

#### 2.6.1. Ruhende Flüssigkeiten und Gase

(4 Stunden)

Wiederholung der Kenntnisse über den Druck

Schweredruck der Flüssigkeiten  $p_s = \rho \cdot g \cdot h$ , Hinweis auf die barometrische Höhenformel für den Luftdruck

Auftriebskraft  $F_A = \rho_F \cdot g \cdot V_F$

Schwimmen eines festen Körpers in einer Flüssigkeit, Bedingungen für stabiles Gleichgewicht eines schwimmenden Körpers

Schülerexperimente:

Untersuchen der stabilen Gleichgewichtslage eines schwimmenden Körpers (x)

Bestimmen der Dichte von Flüssigkeiten

Demonstrationsexperimente:

Abhängigkeit des Schweredruckes von der Höhe und von der Dichte der Flüssigkeit

Abhängigkeit der Auftriebskraft vom Volumen des Körpers und von der Dichte der Flüssigkeit (oder des Gases)

#### 2.6.2. Strömende Flüssigkeiten und Gase

(4 Stunden)

Stationäre Strömung, ideale Flüssigkeit

Kontinuitätsgleichung  $A \cdot v = \text{konstant}$

Bernoullische Gleichung  $p + \rho \cdot h \cdot g + \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 = \text{konstant}$

Statischer Druck und dynamischer Druck (Staudruck), Messung der Drücke und der Strömungsgeschwindigkeit mit Drucksonde, Pitotrohr, Staurrohr und Venturidüse

Zerstäuber, Vergaser, Wasser- und Dampfstrahlpumpe, Gasbrenner; hydro- und aerodynamische Paradoxa

Toricellisches Ausflußgesetz  $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$

Ausblick auf Erscheinungen in strömenden Flüssigkeiten und Gasen, die auf Reibung zurückzuführen sind

Demonstrationsexperimente:

Bestätigung der Kontinuitätsgleichung

Druck- und Geschwindigkeitsmessung in Strömungen

Demonstration von Anwendungen strömender Flüssigkeiten und Gase

Leistungskontrolle

2 Stunden

3. Praktikum  
=====

22 Stunden  
=====

Im Praktikum ist die Selbständigkeit der Schüler bei der Lösung experimenteller Aufgaben weiter zu erhöhen. Dabei sollen sie im Unterricht erworbenes Wissen und Können wiederholen, anwenden und festigen, wobei auch Lehrbücher, Nachschlagewerke und Fachliteratur zu benutzen sind. Dabei sind solche Eigenschaften wie Zielstrebigkeit und Ausdauer, Exaktheit und Verantwortungsbewußtsein, Gewohnheit zur Kontrolle und Wertung von Ergebnissen, Hilfsbereitschaft und gegenseitige Rücksichtnahme weiter zu entwickeln. Das Praktikum soll mit dazu beitragen, das schöpferische Denken der Schüler und den Willen zum selbständigen Handeln zu fördern. Schließlich soll das Praktikum zum besseren Theorieverständnis beitragen.

Die Inhalte sind so ausgewählt, daß die Schüler die 10 Praktikumsexperimente bereits im ersten Schulhalbjahr durchführen können. Es sind jeweils Doppelstunden zu planen. Die Experimente werden überwiegend als Gruppenexperimente durchgeführt.

Die Schüler sind in einer einführenden Doppelstunde mit dem organisatorischen Ablauf des Praktikums und mit der Anfertigung eines Praktikumsprotokolls vertraut zu machen. Sie erhalten Hinweise zum Verhalten während des Praktikums. Zugleich werden die Schüler über den Inhalt der durchzuführenden Fehlerbetrachtungen informiert. Die Schüler sollen in der Lage sein,

- zwischen systematischen, zufälligen und groben Fehlern zu unterscheiden,
- Mittelwerte zu berechnen,
- möglichst genau zu ermitteln, welche Meßgröße den größten relativen Fehler in das Meßergebnis einbringt,
- das Ergebnis mit sinnvoller Genauigkeit anzugeben.

**Praktikumsexperimente:**  
 .....

1. Bestimmen von Urspannung und Innenwiderstand einer Spannungsquelle
2. Bestätigen der Gesetze für den Transformator
3. Untersuchen der Leistungsanpassung im Grundstromkreis
4. Erkennen von Bauelementen aus Blackbox-Experimenten
5. Untersuchen der Vorgänge beim Laden und Entladen von Kondensatoren
6. Bestimmen des Wirkungsgrades eines Gleichstrommotors
7. Elektrisches Messen von Temperaturen
8. Bestimmen des Wirkungsgrades einer Anordnung zur Umwandlung von Energie
9. Anwenden von Dioden in Gleichrichterschaltungen
10. Bestimmen der spezifischen elektrischen Leitfähigkeit von Metallen
11. Bestimmen der Fallbeschleunigung
12. Untersuchen von Anwendungen des Newtonschen Grundgesetzes
13. Ermitteln von Wurfbahnen
14. Ermitteln der Federkonstanten für Systeme aus mehreren Federn

**4. Schwingungen und Wellen**  
 =====

47 Stunden  
 =====

In diesem Stoffgebiet werden die mechanischen und elektromagnetischen Schwingungen und Wellen zwar getrennt behandelt, aber



ihre Gemeinsamkeiten bei der mathematischen Beschreibung, der Art und Weise der Definition entsprechender physikalischer Größen und die Strukturgleichheit der Gesetze deutlich herausgearbeitet.

Die zur kinematischen Beschreibung von Schwingungen notwendigen Größen werden zunächst anschaulich am Beispiel der mechanischen Systeme "horizontaler Federschwinger" und "Fadenpendel" eingeführt. Bezüglich der rücktreibenden Kräfte erfolgt die Beschränkung auf den Fall der harmonischen Schwingung. Ihre kinematische und dynamische Beschreibung sowie die energetische Betrachtung erfolgen sowohl qualitativ als auch quantitativ.

Die in den entsprechenden Gleichungen enthaltenen Abhängigkeiten werden analysiert und experimentell untersucht. Durch die Behandlung von Schallschwingungen werden Probleme der Akustik berücksichtigt. Zusammenhänge zwischen Frequenz und Tonhöhe, Frequenzspektrum und Klangfarbe sowie Lautstärke und Amplitude sind deutlich zu machen. Die Behandlung der Schwingungen schließt mit einer Verallgemeinerung zum Denkmodell "Schwingung" als zeitlich periodische Änderung einer physikalischen Größe ab.

In der Stoffeinheit "Mechanische Wellen" wird die räumliche Ausbreitung einer Schwingung betrachtet, und die dabei auftretende räumliche Periodizität wird durch die Größe Wellenlänge erfaßt. Die Schüler erkennen, daß hierbei Energietransport ohne Stofftransport auftritt. Im wesentlichen erfolgt eine Beschränkung auf ungedämpfte Wellen.

Die Schüler lernen die Ausbreitungsgeschwindigkeit und den Zusammenhang dieser Geschwindigkeit mit der räumlichen und der zeitlichen Periode der Welle kennen. Für Schallwellen wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit experimentell bestimmt.

In der Stoffeinheit "Elektromagnetische Wellen" (Hertz'sche Wellen) lernen die Schüler in Analogie zu den mechanischen Wellen die Erscheinungen bei der Ausbreitung elektromagnetischer Schwingungen im Raum kennen. Sie erhalten Einblicke in die historische Entwicklung bei der Entdeckung und Anwendung dieser Wellen. Dabei wird der Einfluß der Physik auf die Produktivkräfte deutlich. Schwerpunkte bei der Behandlung der Anwendung elektromagnetischer Wellen sind das Senden, Ausbreiten und Empfangen der Wellen,

die Notwendigkeit der Modulation hochfrequenter Träger und der prinzipielle Aufbau von Rundfunk- und Fernsehgeräten.

4.1. Mechanische Schwingungen und Wellen 17 Stunden

4.1.1. Mechanische Schwingungen (7 Stunden)

Mechanische Schwingungen in Natur und Technik, mechanische Schwingungen als zeitlich periodische Bewegung eines Körpers um seine Gleichgewichtslage

Beschreiben einer Schwingung: Auslenkung  $x(t)$ , Amplitude  $x_m$ , Periodendauer  $T$ , Frequenz  $f = \frac{1}{T}$ ;  $x(t)$  - Diagramm

Dynamik der Schwingungen: Zur Gleichgewichtslage gerichtete rücktreibende Kräfte und träge Masse des schwingenden Systems als Voraussetzung für mechanische Schwingungen

Harmonische Schwingung ( $F = -k \cdot x$ ) des horizontalen Federschwingers ( $k$ : Federkonstante) und des Fadenpendels ( $k = \frac{m \cdot g}{l}$ )

Gesamtenergie des harmonisch schwingenden Systems  $E_g = \frac{1}{2} k \cdot x_m^2$

Phase  $\varphi$  der Schwingung;  $x = x_m \cdot \sin \varphi$ ,  $v = x_m \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot \cos \varphi$

Vergleich der harmonischen Schwingung mit der gleichförmigen Kreisbewegung:  $\varphi(t) = \frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi_0$ ; Nullphase  $\varphi_0$ , Kreisfrequenz  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot f$

Beschreibung harmonischer Schwingungen mit der Gleichung  $x = x_m \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$

$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$  beim Fadenpendel und beim Federschwinger

Hinweis auf die Abhängigkeit der Frequenz schwingender Saiten von Querschnitt, Länge und Spannkraft der Saiten

Hinweis auf Drehschwingungen

Ungedämpfte und gedämpfte Schwingungen, Energieumwandlungen am Fadenpendel und am Federschwinger, Ursachen der Dämpfung, Verringerung und Vergrößerung der Dämpfung in der Technik

Eigenschwingungen und erzwungene Schwingungen, Eigenfrequenz und Erregerfrequenz, Energieübertragung durch Kopplung

Resonanz, Resonanzkurve, Beispiele für die Nutzung und Unterdrückung der Resonanz,

Erzeugung ungedämpfter Schwingungen, Überlagerung zweier Schwingungen, Lissajoussche Figuren

Schallschwingungen; Tonhöhe, Klangfarbe, Lautstärke; Frequenzbereiche des Schalls

Verallgemeinerung: Schwingung als zeitlich periodische Änderung einer physikalischen Größe

Schülerexperimente:  
.....

Untersuchen der Abhängigkeit der Periodendauer eines Fadenpendels von der Pendellänge

Untersuchen der Abhängigkeit der Periodendauer eines horizontalen Federschwingers von der Masse und der Federkonstante

Untersuchen der Resonanz zweier Fadenpendel

Demonstrationsexperimente:  
.....

Schwingungen eines Fadenpendels, eines vertikalen Federschwingers, einer Stimmgabel und einer Blattfeder

Drehschwingungen

Aufnahme eines  $x(t)$ -Diagramms einer Schwingung

Gedämpfte Schwingungen

Gekoppelte Schwingungen

Energieübertragung durch Kopplung

Resonanz

Erzeugung ungedämpfter Schwingungen

Beeinflussung der Tonhöhe einer schwingenden Saite

Oberschwingungen einer schwingenden Saite

4.1.2. Mechanische Wellen

(7 Stunden)

Mechanische Wellen in Natur und Technik, Energieübertragung durch Wellen ohne Stofftransport

Voraussetzungen für eine mechanische Welle: schwingungsfähige mechanische Systeme (Oszillatoren) und Kopplungskräfte zwischen den Systemen

Welle als Ausbreitung einer Schwingung im Raum:  $x(s, t)$ ;

Wellenfront, Ausbreitungsrichtung  $\vec{s}$  (Wellennormale); Periodizität eines bestimmten Schwingungszustandes in Ausbreitungsrichtung,

Wellenlänge  $\lambda$  als kleinste räumliche Periode

Amplitude  $x_m$  und Frequenz  $f$  der Welle

Diagramme  $x(t)$  bei  $s = \text{konstant}$  und  $x(s)$  bei  $t = \text{konstant}$

Hinweis auf die mathematische Beschreibung einer ebenen harmonischen Welle mit der Gleichung

$$x(s, t) = x_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot s - \frac{2\pi}{T} \cdot t + \varphi_0\right)$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit eines bestimmten Schwingungszustandes (Phasengeschwindigkeit):  $v = \lambda \cdot f$ ; Hinweis auf den Zusammenhang von Kopplung und Ausbreitungsgeschwindigkeit

Longitudinal- und Transversalwelle

Schallwellen als skalare Wellen  $p(s, t)$ ; Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen in Luft; Verhalten von Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz an der Grenzfläche zweier Medien

Ausbreitung mechanischer Wellen: Huygenssches Prinzip; Reflexion, Brechung; Reflexionsgesetz, Brechungsgesetz; Beugung an Spalten und Kanten

Überlagerung zweier Wellen (Superpositionsprinzip), Interferenz, Bedingungen für das Entstehen von stationären Interferenzbildern, stehende Wellen

Anwendung von Reflexion und Brechung beim Ultraschall (Echo- lotung, Ultraschalldiagnostik)

Dopplereffekt:  $f = \frac{f_0}{1 \pm u/v}$  bei bewegter Schallquelle, Hinweis auf den Fall des bewegten Beobachters

Physikalische Grundlagen des Hörvorganges

Verallgemeinerung: Welle als zeitlich periodische und örtlich periodische Änderung einer physikalischen Größe

Demonstrationsexperimente:

Wasser-, Seil-, Schallwellen

Energieübertragung in einer Kette gekoppelter Pendel

Messung der Schallgeschwindigkeit in Luft (Luftzeitmessung)

Reflexion von Wasser- und Schallwellen

Brechung von Wasserwellen

Beugung und Interferenz bei Wasser- und Schallwellen

Schwebungen bei Schallwellen

Stehende Wellen am Seil, auf Saiten, in Luftsäulen  
und auf Platten (Chladnische Klangfiguren)

Frequenzänderung bei bewegten Schallquellen

4.1.3. Übung und Anwendung

(3 Stunden)

Zeichnen und Interpretieren von  $x(s)$ - und  $x(t)$ -Diagrammen

Berechnen von Wellenlängen und Frequenzen

Berechnen von Frequenz- und Wellenlängenänderungen beim  
Dopplereffekt

Berechnen von Schwingungszeiten beim Fadenpendel und beim  
Federschwinger

Leistungskontrolle

2 Stunden

4.2. Elektromagnetische Schwingungen und Wellen

26 Stunden

4.2.1. Wechselstromwiderstände

(4 Stunden)

Verhalten verschiedener Bauelemente beim Anlegen einer harmonischen Wechselspannung  $u(t) = \hat{U} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ , Frequenz und Amplitude der Netzwechselspannung; Hinweis auf nichtsinusförmige Spannungen

Ohmsche Bauelemente im Gleich- und im Wechselstromkreis; Ohmscher Widerstand

$R = \frac{U}{I}$ ; zeitlicher Gleichlauf von Spannung und Stromstärke bei ohmschen Bauelementen

Umwandlung von elektrischer Energie in thermische Energie in Ohmschen Bauelementen

Spulen im Gleich- und im Wechselstromkreis; induktiver Widerstand einer idealen Spule  $X_L = \frac{U}{I}$  und  $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$ ; Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke; Umwandlung von elektrischer Energie in magnetische Feldenergie

Reale Spule

Anwendung der Spule als Vorwiderstand im Wechselstromkreis

Kondensatoren im Gleich- und im Wechselstromkreis; kapazitiver Widerstand eines verlustfreien Kondensators  $X_C = \frac{U}{I}$  und  $X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$ ; Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke; Umwandlung von elektrischer Energie in elektrische Feldenergie

Realer Kondensator

Anwendungen des Kondensators (Vorwiderstand im Wechselstromkreis, Trennung von Gleich- und Wechselspannung, Trennung von Wechselströmen verschiedener Frequenzen, Glättung pulsierender Gleichspannungen)

Schülerexperimente:

Erarbeiten oder Bestätigen der Abhängigkeit  $X_L \sim f$

Erarbeiten oder Bestätigen der Abhängigkeit  $X_L \sim L$



Erarbeiten oder Bestätigen der Abhängigkeit  $X_C \sim \frac{1}{f}$

Erarbeiten oder Bestätigen der Abhängigkeit  $X_C \sim \frac{1}{\omega}$

Demonstrationsexperimente:  
.....

Widerstand Ohmscher Bauelemente im Gleich- und im Wechselstromkreis

Zeitlicher Gleichlauf von Spannung und Stromstärke bei Ohmschen Bauelementen

Induktiver Widerstand einer Spule

Phasenverschiebung bei der Spule

Drosselspule

Kapazitiver Widerstand eines Kondensators

Phasenverschiebung am Kondensator

Kondensator als Vorwiderstand

Trennung von Gleich- und Wechselstrom

Glättung pulsierender Gleichspannungen

4.2.2. Wechselstromkreis

(7 Stunden)

Reihenschaltung von Wechselstromwiderständen; Addition von harmonischen Wechselspannungen mit Phasenverschiebungen  
Zeigermethode

Spannungszeigerdiagramm für die Reihenschaltungen R-L, R-C und R-C-L; Gesamtspannung  $U_g = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$  und

$$\tan \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R}, \text{ experimentelle Bestätigung}$$

Widerstandszeigerdiagramm (Ähnlichkeitstransformation mit

$1/I$  als Streckungsfaktor) für die Reihenschaltung R-C-L;  $X_C$   
Scheinwiderstand  $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$  und  $\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$

Einfluß der Frequenz auf das Spannungs- und Widerstandszeigerdiagramm; Verhalten von R-C-Gliedern als Hoch- und Tiefpaß; Grenzfrequenz  $\omega_G = \frac{1}{R \cdot C}$ ; Wienischer Spannungsteiler

Parallelschaltung von Wechselstromwiderständen; Stromzeiger-

diagramm für die Parallelschaltungen R-L, R-C und R-C-L;  
 Gesamtstrom  $I_G = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$ ; experimentelle Bestätigung  
 Leistung im Wechselstromkreis; Unterscheiden der Leistungen:  
 $P_S = \sqrt{P_W^2 + P_B^2}$ ,  $P_W = P_S \cdot \cos \varphi$ ,  $P_B = P_S \cdot \sin \varphi$   
 Bedeutung von  $\cos \varphi$ , Möglichkeiten zur Verringerung der  
 Phasenverschiebung in der Technik

**Schülerexperimente:**

Messen von Stromstärken und Spannungen im unverzweigten  
 Wechselstromkreis

Messen von Stromstärken und Spannungen im verzweigten  
 Wechselstromkreis

**Demonstrationsexperimente:**

Gesamt- und Teilspannungen an Reihenschaltungen von  
 Ohmschen, induktiven und kapazitiven Wechselstromwider-  
 ständen

Übertragungsverhalten von RC-Hoch- bzw. -Tiefpaß

Gesamt- und Teilströme an der Parallelschaltung von  
 Ohmschen, induktiven und kapazitiven Wechselstromwider-  
 ständen

Einfluß der Frequenz auf die Spannungs-, Strom- und  
 Phasenbeziehungen im Wechselstromkreis

Messung der Wirk- und Scheinleistung im Wechselstromkreis

**4.2.3. Schwingkreis**

**(4 Stunden)**

Wechselstromkreis (R-C-L), Sonderfall  $X_L = X_C$  (sowohl für den  
 Reihen- als auch für den Parallelkreis); Wechselstromkreis als  
 schwingungsfähiges System, das durch die Spannungsquelle zu  
 erzwungenen Schwingungen angeregt wird

Eigenschwingungen des Kreises, Dämpfung und deren Ursachen,  
 Eigenfrequenz  $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$ ; Resonanz, Zeigerdiagramm für  
 Resonanzfall

Resonanzkurve  $Z(f)$ , Hinweis auf Bandbreite

Vorgänge an Spule und Kondensator aus energetischer Sicht  
Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen,  
Aufbau eines elektronischen Generators (Verstärker sowie frequenz- und phasenabhängige Rückkopplung), Betrags- und Phasenbedingung  
Aufbau und Wirkungsweise des Meißner-Generators und des Wien-Generators  
Anwendungen elektromagnetischer Schwingungen in Technik und Medizin (HF-Erwärmung, Mikrowellenherd, Kurzwellenbehandlung)

**Schülerexperiment:**

.....  
Untersuchen des Einflusses von R, L und C bei freien gedämpften Schwingungen am Oszillografen

**Demonstrationsexperimente:**

.....  
Teilspannungen und Stromstärke in der Reihenschaltung R-C-L bei konstanter Gesamtspannung und veränderlicher Frequenz  
Teilströme und Gesamtstrom bei Parallelschaltung R-L-C bei konstanter Gesamtspannung und veränderlicher Frequenz

**4.2.4. Elektromagnetische Wellen (7 Stunden)**

Entdeckung elektromagnetischer Wellen (theoretische Vorhersage durch J. C. Maxwell, experimenteller Nachweis durch H. Hertz); elektromagnetische Wellen als Ausbreitung elektromagnetischer Schwingungen im Raum, räumlich und zeitlich periodische Änderungen der Stärke des elektrischen und des magnetischen Feldes; elektrische und magnetische Wechselfelder am Dipol und im Raum  
Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$ , Wellenlänge  $\lambda$  und Frequenz  $f$   
 $c = \lambda \cdot f$ , Analogie zu mechanischen Wellen  
Ausbreitungsphänomene: Durchdringung von Isolatoren, Dämpfung, Absorption, Reflexion an Leitern (Beispiel: Reflexion an der Ionosphäre), Brechung beim Übergang in ein Medium mit veränderter Ausbreitungsgeschwindigkeit; Beugung an Spalten und Kanten, Interferenzfähigkeit (Beispiel der Auslöschung von Raum- und Bodenwelle beim Kurzwellenempfang), Interferenz am Doppelspalt

Hinweis auf Energietransport durch elektromagnetische Wellen  
Anwendungen hochfrequenter elektromagnetischer Wellen in der  
Informationstechnik, Aufprägen der Information auf hochfre-  
quenten Träger durch Modulation (Notwendigkeit, Möglichkeit AM,  
FM; Hinweis auf PCM)

Abstrahlung der Welle durch Sendeantenne, Empfangsantenne  
( $\lambda/2$ -Dipol); Auswahl der gewünschten Trägerfrequenz durch  
Resonanzeffekte (Antenne und Abstimmkreis); Demodulation,  
Signalverstärkung; Baugruppen und ihr Zusammenwirken beim Rund-  
funk- und Fernsehempfänger

Überblick über die Frequenzbereiche elektromagnetischer Wellen  
und damit verbundene Eigenschaften und Besonderheiten in der  
Ausbreitung

Überblick über die Anwendungen in Industrie, Landwirtschaft,  
Verkehr, Nachrichtentechnik, Flugsicherung, Landesverteidigung  
und Weltraumforschung

Demonstrationsexperimente:

.....  
Durchdringungsfähigkeit, Reflexion, Brechung, Beugung  
und Interferenz elektromagnetischer Wellen

Modulation und Demodulation

#### 4.2.5. Übung und Anwendung

(4 Stunden)

Berechnen von Stromstärken, Spannungen und Phasenverschiebungen  
im Reihenschwingkreis R-C-L

Anfertigen und Auswerten von Zeigerdiagrammen

Berechnen der Grenzfrequenzen bei R-C-Hoch- und Tiefpässen

Schülerexperiment:

.....

Aufnahmen von Resonanzkurven im Reihenschwingkreis I(f)

Leistungskontrolle

2 Stunden

5. Optik

=====

42 Stunden

=====

In Klasse 11 werden die Wellenoptik und die geometrische Optik  
behandelt. Die quantenhaften Vorgänge bei der Emission und

Absorption von Licht sind im Stoffgebiet 9. Atomphysik (Klasse 12) eingeordnet.

Innerhalb der Wellenoptik liegt der Schwerpunkt auf der Behandlung der Interferenz des Lichtes, wobei unterschiedliche Verfahren zur Erzeugung kohärenter Lichtanteile erarbeitet werden.

Das Modell "Welle" und das "Huygenssche Prinzip" stehen als Ausgangswissen aus dem vorangehenden Stoffgebiet zur Verfügung.

Es erfolgt ein umfangreicher Einsatz mathematischer Kenntnisse der Schüler über Winkelfunktionen zur quantitativen Beschreibung der Brechung, Beugung und Polarisation.

Wegen der zunehmenden volkswirtschaftlichen Bedeutung von Lichtleiterkabeln ist diese technische Anwendung der Totalreflexion besonders gründlich zu behandeln.

Für das Licht wird abschließend das Modell einer transversalen elektromagnetischen Welle entwickelt.

Die Strahlenoptik wird als Grenzfall der Wellenoptik dargestellt.

Die aus der Wellenoptik bekannten Gesetze der Reflexion und Brechung werden mit Hilfe des Fermatschen Prinzips hergeleitet und auf den Strahlengang in Prismen und planparallelen Platten angewandt. Die Kenntnisse der Schüler aus dem Mathematikunterricht der Klasse 11 über Differentialrechnung finden hier erste Anwendungen in der Physik.

Schwerpunkt bei der Behandlung von Spiegeln und Linsen sind die damit möglichen optischen Abbildungen.

Am Beispiel der Abbildungsfehler sind den Schülern Modellcharakter und Gültigkeitsgrenzen der Abbildungsgesetze zu verdeutlichen.

Auf technische Anwendungen der Linsen und Spiegel in optischen Geräten ist exemplarisch einzugehen. Dabei ist die besondere Leistungsfähigkeit der optischen Industrie der DDR herauszuarbeiten.

## 5.1. Wellenoptik

18 Stunden

### 5.1.1. Reflexion, Brechung, Beugung

(4 Stunden)

Aufteilung des Lichtes bei Reflexion und Brechung in einen reflektierten Anteil, einen transmittierten Anteil und einen

absorbierten Anteil

Reflexionsgesetz

Brechungsgesetz  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_{\text{Stoff 2}}}{n_{\text{Stoff 1}}}$ , Brechzahl eines Stoffes

$n_{\text{Stoff}} = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{c_{\text{Stoff}}}$ , optisch dichte und optisch dünne Medien,

Hinweis auf Messung der Lichtgeschwindigkeit

Totalreflexion, Grenzwinkel  $\alpha_G = \arcsin \frac{n_{\text{Stoff 2}}}{n_{\text{Stoff 1}}}$

Anwendung der Totalreflexion in Lichtleitkabeln, optische Eigenschaften von Lichtleitkabeln

Abhängigkeit der Brechzahl von der Wellenlänge  $n = f(\lambda)$

Beugung

Demonstrationsexperimente:

Reflexion, Brechung und Beugung des Lichts an unterschiedlichen Medien und Hindernissen

Totalreflexion, Bestimmung des Grenzwinkels

Lichtleitung in einem Lichtleitkabel

Dispersion

Abhängigkeit der Brechzahl von der Wellenlänge

### 5.1.2. Interferenz

(6 Stunden)

Superpositionsprinzip am Beispiel von zwei Wellen

Interferenz

Gangunterschied  $\Delta$ , Unterscheidung der optischen und der geometrischen Weglänge ( $s_o = n \cdot s$ )

Bedingungen für Verstärkung und Auslöschung:

Verstärkung  $\Delta = k \cdot \lambda$ ,

Auslöschung  $\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$  mit  $k = 0, 1, \dots$

Einfluß der Amplitude auf die Interferenzerscheinung

Kohärenz der interferierenden Anteile als Voraussetzung für die stationäre Interferenz (Beobachtbarkeit)

Interferenz durch Beugung am Doppelspalt mit monochromatischem Licht, Interferenzbilder am Doppelspalt und am Gitter

Herleitung der Näherungsgleichungen



$$\frac{k \cdot \lambda}{a} = \frac{s \cdot k}{e} = \sin \alpha_R = \tan \alpha_k$$

Interferenz am Spalt, Abhängigkeit der Interferenzerscheinung vom Verhältnis zwischen Wellenlänge  $\lambda$  und Spaltbreite  $a$  ( $\lambda < a$ ,  $\lambda = a$ ,  $\lambda > a$ )

Interferenz an einer Lochblende

Interferenz durch Beugung mit weißem Licht, Beugungsspektrum, Abhängigkeit der Beugung von der Wellenlänge, Erklärung des (weißen) Interferenzmaximums 0. Ordnung und der Spektren in den anderen Interferenzmaxima

Interferenz durch Reflexion an dünnen Schichten, Phasensprung

$$\text{Verstärkung: } 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

$$\text{Auslöschung: } 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = k \cdot \lambda \quad (\text{mit } k = 0, 1, \dots)$$

Anwendungen (Interferenzfilter, Oberflächenvergütung)

Interferenz an keilförmigen Schichten, Newtonsche Ringe

$$\text{Verstärkung: } r_k^2 = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda \cdot R}{2}$$

$$\text{Auslöschung: } r_k^2 = k \cdot \lambda \cdot R \quad (\text{mit } k = 0, 1, \dots)$$

Aufbau, Wirkungsweise und Anwendung des Interferometers

#### Schülerexperimente:

Beobachten und Beugungserscheinungen an Haaren, Spalten und Blenden (x)

Bestimmen von Gitterkonstanten

Bestimmen von Wellenlängen durch Interferenz am Gitter

#### Demonstrationsexperimente:

Notwendigkeit der Einhaltung der Kohärenzbedingungen

Interferenzbilder an Doppelspalt, Gitter, Spalt, Blende, Haar

Interferenzbilder an dünnen Ölschichten, Oberflächenbelägen (z. B. Si-Scheiben), Luftschichten zwischen Dia-Gläsern, Seifenhaut

Newtonsche Ringe

Pohlscher Interferenzversuch

### 5.1.3. Polarisation

(5 Stunden)

Polarisation bei mechanischen Wellen

Polarisation des Lichts mittels Polarisationsfilter

Polarisation des Lichtes durch Reflexion, Brewstersches Gesetz:  
 $\tan \alpha_p = n$ , Brechzahlbestimmung durch Messung des Polarisationswinkels, Ausschaltung unerwünschter Reflexionen mittels Polarisationsfiltern

Teilweise Polarisation durch Brechung, Polarisation durch mehrmalige Brechung

Polarisation durch optische Anisotropie, Doppelbrechung, Nicolsches Prisma, Beobachtungen zum Kristallwachstum

Optische Aktivität, Abhängigkeit des Drehvermögens von Konzentration, Schichtdicke und Wellenlänge

Spannungsdoppelbrechung und deren Bedeutung für die Werkstoffprüfung

Hinweis auf Faraday-Effekt und Kerr-Effekt

Anwendung von Polarisationsfolien in Flüssigkristallanzeigen

Licht als transversale elektromagnetische Welle

Schülerexperimente:

.....  
Bestimmen von Brechzahlen ( $n$ )

Untersuchen der Spannungsdoppelbrechung

Demonstrationsexperimente:

.....  
Polarisation mittels Seilwellen

Polarisationsfilter

Nicolsches Prisma

Polarisation durch Reflexion und Brechung

Optische Aktivität

### 5.1.4. Übung und Anwendung

(3 Stunden)

Berechnungen zum Brechungsgesetz, zu den Interferenzgleichungen und zum Brewsterschen Gesetz

Untersuchen der Spannungsdoppelbrechung

Untersuchen von Beugungs- und Interferenzerscheinungen an  
Haaren, Spalten und Blenden

Leistungskontrolle

2 Stunden

5.2. Strahlenoptik

20 Stunden

5.2.1. Strahlmodell,

Fermatsches Prinzip

(4 Stunden)

Lichtpunkt, Lichtstrahl, Lichtbündel

Zusammenhang Wellenmodell und Lichtstrahl

Geradlinigkeit der Lichtausbreitung in einem optisch homogenen  
Medium

Fermatsches Prinzip

Herleitung des Reflexionsgesetzes und des Snelliusschen Bre-  
chungsgesetzes mit Hilfe des Fermatschen Prinzips

Strahlengang durch eine planparallele Platte

Schülerexperiment:

Bestätigen des Brechungsgesetzes

5.2.2. Prismen, Spiegel, Linsen

(9 Stunden)

Strahlenverlauf für Umkehrprismen,  $90^\circ$ -Prismen und allgemeines  
Prisma, Minimalablenkung am gleichschenkligen Prisma

Optische Abbildung, reelle und virtuelle Bilder

Abbildungsgesetze an ebenen Spiegeln, sphärischen Hohlspiegeln  
und Wölbspiegeln

Listingsche Bildkonstruktion

Abbildungsgleichung  $\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ ; und Abbildungsmaßstab (laterale  
Vergrößerung)

$y' : y = s' : s$

Abbildungsgesetze für dünne Linsen:

$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ ;  $y' : y = s' : s$ ;  $\frac{1}{f} = (n - 1) \cdot \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$

Bestimmung von Linsenbrennweiten (Abbildungsgleichungen und  
Besselverfahren)

Linsensysteme aus dünnen Linsen,  $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{e}{f_1 \cdot f_2}$

Bestimmung der Brennweite konkaver Linsen

Hinweis auf Brechkraft

Abbildungsfehler

Schülerexperimente:

Bestimmen der Minimalablenkung am Prisma

Bestätigen der Gleichung für den Abbildungsmaßstab

Bestätigen der Abbildungsgleichung

Demonstrationsexperimente:

Abbildung an ebenen Spiegeln

Abbildung an sphärischen Spiegeln

Abbildung an Linsen

Abbildungsfehler an Spiegeln

Abbildungsfehler an Linsen

### 5.2.3. Das Auge und der Sehvorgang

(1 Stunde)

Abbildungsvorgang im Auge

Akkommodation, deutliche Sehweite, Sehwinkel und Auflösungsvermögen

Schülerexperiment:

Überprüfen der Akkomodationsfähigkeit und der deutlichen Sehweite des eigenen Auges (x)

### 5.2.4. Optische Geräte

(3 Stunden)

Vergleich von Aufbau und Strahlengang optischer Geräte (Lupe, Kamera, Projektor, Mikroskop, Fernrohr); Winkelvergrößerung  
Ausführliche Behandlung eines Gerätes

Schülerexperiment:

Aufbauen eines optischen Gerätes aus Aufbauteilen

Demonstrationsexperiment:

Funktionsweise eines industriellen optischen Gerätes

### 5.2.5. Übung und Anwendung

(3 Stunden)

Berechnungen zum Fermatschen Prinzip und zu den Abbildungsgleichungen

Bildkonstruktionen an Spiegeln und Linsen

### Leistungskontrolle

2 Stunden

## 6. Thermodynamik

56 Stunden

Im Stoffgebiet Thermodynamik wird das von den Schülern in den Klassen 6 und 8 erworbene Wissen und Können vertieft und erweitert.

In Verbindung mit dem Modell ideales Gas werden in der ersten Stoffeinheit die phänomenologische und die kinetisch-statistische Betrachtungsweise eingeführt und gegenübergestellt. Die in der Mechanik Klasse 10 begonnene Unterscheidung von Zustands- und Prozeßgrößen an physikalischen Systemen ist dabei fortzusetzen.

Die allgemeine Zustandsgleichung idealer Gase wird zunächst durch phänomenologische Betrachtungen aus Spezialfällen entwickelt. Es ist herauszuarbeiten, daß das ideale Gas hierbei als Kontinuum betrachtet wird. Anschließend erfolgt eine Einführung in die kinetisch-statistische Betrachtungsweise. Unter Verwendung des Teilchenmodells werden Grundbegriffe der statistischen Physik wie absolute und relative Häufigkeit bzw. Wahrscheinlichkeiten räumlicher Anordnungen sowie Energie- und Geschwindigkeitsverteilungen anhand von Demonstrationsexperimenten zur ungeordneten Bewegung der Teilchen eines Modellgases anschaulich erarbeitet.

Unter kinetisch-statistischen Annahmen ist die Größe Druck als statistische Größe einzuführen.

Der Vergleich der Ergebnisse phänomenologischer und kinetisch-statistischer Betrachtungsweisen führt zu weiteren Einsichten in den statistischen Charakter der Größen Temperatur und thermische Energie. Die Begründbarkeit thermodynamischer Gesetze durch kinetisch-statistische Betrachtungen wird den Schülern deutlich gemacht.

In der zweiten Stoffeinheit werden zur Vorbereitung auf die Arbeit mit dem ersten Hauptsatz zunächst die Kenntnisse über den Begriff Wärme vertieft und in diesem Zusammenhang kalorische Gleichungen entwickelt und angewandt. Mit Hilfe der Integralrechnung erfolgt die Berechnung der Volumenarbeit bei verschiedenen Zustandsänderungen idealer Gase.

Den ersten Hauptsatz lernen die Schüler als Erfahrungssatz und als Möglichkeit zur Definition der thermischen Energie kennen. Die Anwendungen des ersten Hauptsatzes erfolgen vor allem auf die bei quasistatischen und reversiblen Zustandsänderungen idealer Gase auftretenden Energieumsätze und auf Kreisprozesse. Ausgehend vom ersten Hauptsatz werden nun auch die Gleichungen für die adiabatische Zustandsänderung idealer Gase entwickelt. Der Carnotsche Kreisprozeß und sein thermischer Wirkungsgrad werden quantitativ beschrieben.

Bei der Behandlung technischer Kreisprozesse erkennen die Schüler, daß es möglich ist, komplizierte reale Vorgänge zunächst teilweise durch idealisierte Zustandsänderungen zu erfassen. Auf Fragen der ökonomischen Energieanwendung und die Möglichkeit, Umweltbelastungen in Grenzen zu halten, wird dabei eingegangen.

In der dritten Stoffeinheit wird der zweite Hauptsatz im Zusammenhang mit den Begriffen reversibel und irreversibel sowie mit den Möglichkeiten zur Umwandlung thermischer Energie in mechanische erarbeitet. Dabei lernen die Schüler verschiedene äquivalente Formulierungen des zweiten Hauptsatzes kennen. Bei der Anwendung des zweiten Hauptsatzes auf Kreisprozesse steht der Vergleich von Wirkungsgraden im Vordergrund.

Ebenfalls im Zusammenhang mit den Kreisprozessen wird die Größe Entropie eingeführt und ihre Zweckmäßigkeit anhand der T-S-Diagramme von Kreisprozessen und speziellen Zustandsänderungen idealer Gase und bei der Formulierung des zweiten Hauptsatzes verdeutlicht. Auf die statistische Definition der Entropie ist hinzuweisen.

Nach der Wiederholung zur linearen und kubischen Ausdehnung der Körper werden in der vierten Stoffeinheit Phasenumwandlungen



und dabei auftretende Umwandlungswärmen behandelt. Zur Erklärung ist die mikroskopische Betrachtungsweise heranzuziehen. Auf die Bedeutung des Tripelpunktes des Wassers im Zusammenhang mit der Definition der Temperatureinheit ist einzugehen.

Die Behandlung der Gesetze der Wärmeleitung und des Wärmeüberganges geben die Möglichkeit, auf Analogien zum Vorgehen bei der Beschreibung elektrischer Leitungsvorgänge hinzuweisen. Die Schüler wenden ihre Kenntnisse über den Transport thermischer Energie auf die Probleme der thermischen Beanspruchung insbesondere bei elektronischen Bauelementen an.

## 6.1. Zustandsgleichung des idealen Gases 15 Stunden

### 6.1.1. Thermodynamische Systeme (2 Stunden)

Thermodynamisches System als Untersuchungsgegenstand der Thermodynamik, einfache Beispiele für Systeme, Systemgrenze und Umgebung; Wiederholung der Begriffe offene, geschlossene und abgeschlossene Systeme

Zustand eines thermodynamischen Systems, Beschreibung des Zustandes durch Druck  $p$ , Volumen  $V$  und Temperatur  $T$ ;  
Verfahren zur Messung dieser Zustandsgrößen

Wechselwirkung des Systems mit der Umgebung, Temperatúrausgleich

Allgemeine Kennzeichnung der phänomenologischen und der kinetisch-statistischen Betrachtungsweise

Modell des idealen Gases

### 6.1.2. Phänomenologische Betrachtung idealer Gase (3 Stunden)

Zustandsänderungen des idealen Gases; Begriffe: isobar, isochor, isotherm

Gay-Lussacsche Gesetze:  $V = V_0(1 + \gamma \cdot \Delta T)$  und  $p = p_0(1 + \beta \cdot \Delta T)$

Gleichheit zwischen dem isobaren Ausdehnungskoeffizienten und dem isochoren Spannungskoeffizienten  $\gamma$ ; Gasthermometer

Boyle-Mariottesches-Gesetz  $p \cdot V = \text{konst}$

Zustandsgleichung des idealen Gases  $p \cdot V = m \cdot R \cdot T$ ,

Zusammenhang zwischen stoffspezifischer Gaskonstante  $R$  und der molaren Gaskonstante  $R_0$ :  $R_0 = m_{m0} \cdot R$ ; molare Masse  $m_{m0}$

Darstellung von isobaren, isochoren und isothermen Zustandsänderungen idealer Gase in  $p$ - $V$ -,  $V$ - $T$ - und  $p$ - $T$ -Diagrammen

Hinweis auf die Van-der-Waals-Gleichung für reale Gase

Demonstrationsexperimente:

.....  
Bestätigung der Gay-Lussacschen Gesetze

Bestätigung des Boyle-Mariotteschen-Gesetzes

### 6.1.3. Kinetisch-statistische Betrachtung idealer

Gase

(4 Stunden)

Notwendigkeit statistischer Betrachtungen bei Verwendung des Teilchenmodells

Brownsche Bewegung als Beispiel für statistische Schwankungserscheinungen

Aufenthaltort und kinetische Energie der Teilchen als Zufallsgrößen, Anordnung der Teilchen zu einem Zeitpunkt als zufälliges Ereignis, absolute und relative Häufigkeit von Anordnungen

Gleichverteilung als wahrscheinlichste Anordnung

Übergang in den Zustand der Gleichverteilung als irreversibler Prozeß, Gasdiffusion als Beispiel

Hinweis auf die thermodynamische Wahrscheinlichkeit  $w = \left(\frac{V}{\Delta V}\right)^N$

Energie- und Geschwindigkeitsverteilung der Teilchen des idealen Gases zu einem Zeitpunkt als zufälliges Ereignis, Energieverteilungskurve, Maxwell'sche Geschwindigkeitsverteilung (qualitativ)

Thermische Energie als Summe der Mittelwerte der kinetischen Energie der einzelnen Teilchen  $E_{th} = N \cdot \bar{E}_k$

Druck des idealen Gases als statistische Größe, Herleitung der Zustandsgleichung  $p \cdot V = \frac{2}{3} N \cdot \bar{E}_k$  durch kinetisch-statistische Annahmen

**Schülerexperiment:**

Aufnahmen von Häufigkeitsverteilungen mehrerer Teilchen  
in zwei gleichen Raumgebieten (x)

**Demonstrationsexperimente:**

Brownsche Bewegung

Diffusion von Gasen

Modellversuch zur Geschwindigkeitsverteilung

**6.1.4. Zusammenhänge zwischen phänomenologischer  
und kinetischer Betrachtungsweise (3 Stunden)**

Schlußfolgerungen aus dem Vergleich der phänomenologischen Zustandsgleichung  $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$  mit der kinetisch-statistischen

$$p \cdot V = \frac{2}{3} N \cdot \bar{E}_k :$$

Zusammenhang zwischen Temperatur und mittlerer kinetischer Energie der Teilchen  $T \sim \bar{E}_k$  sowie zwischen mittlerer Geschwindigkeit und Temperatur  $\bar{v} = \sqrt{\frac{3}{2} R \cdot T}$

Zusammenhang zwischen mittlerer Geschwindigkeit und Dichte

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3 p}{\rho}}$$

Zusammenhang zwischen mittleren Geschwindigkeiten und molaren Massen bei Gasgemischen gleicher Temperatur

$$\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_2} = \sqrt{\frac{m_{\text{mo}_2}}{m_{\text{mo}_1}}}, \text{ Anwenden auf Diffusionsgeschwindigkeiten}$$

Thermische Energie  $E_{\text{th}} = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot T$ , thermische Energie als Zustandsgröße

Boltzmannkonstante  $k = \frac{R_0}{N_A}$  und  $k = \frac{R \cdot m}{N}$ ,  $\bar{E}_k = \frac{3}{2} k \cdot T$  für atomare Gase und

$\bar{E}_k = \frac{5}{2} k \cdot T$  für zweiatomige Moleküllgase, Freiheitsgrade der Energieaufnahme, Gleichverteilungssatz

**6.1.5. Übung und Anwendung (3 Stunden)**

Anwenden der allgemeinen Zustandsgleichung idealer Gase

Arbeiten mit p-V-, p-T- und V-T-Diagrammen  
 Berechnen der spezifischen Gaskonstante verschiedener Gase  
 Berechnen von Teilchenzahl und Teilchendichte in Gasen  
 Berechnen der mittleren Geschwindigkeit von Gasteilchen in  
 Abhängigkeit von Temperatur und Dichte  
 Berechnen der thermischen Energie idealer Gase in verschiedenen  
 Zuständen

6.2. Erster Hauptsatz

19 Stunden

6.2.1. Wärme, Kalorimetrie

(4 Stunden)

Wärme Q als Prozeßgröße zur Erfassung der Änderung der thermischen Energie durch mikroskopische Prozesse an der Systemgrenze, Vorzeichenfestlegung

$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ , spezifische Wärmekapazität c bei festen und flüssigen Systemen

Heizwert  $H = \frac{Q}{m}$  von Brennstoffen

Energieaustausch in Form von Wärme bei zwei aneinander grenzenden Systemen unterschiedlicher Temperatur  $Q_{ab} = -Q_{auf}$ , Mischungstemperatur  $T_m$ , Richmännische Mischungsregel

Einfluß des Kalorimeters, Wärmekapazität K eines Kalorimeters

Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität fester und flüssiger Stoffe

Schülerexperimente:  
 .....

Bestimmen der Wärmekapazität von Kalorimetern

Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität von Flüssigkeiten

6.2.2. Volumenarbeit bei idealen Gasen

(2 Stunden)

Reversible Volumenarbeit bei Kompression oder Expansion eines idealen Gases  $w_m = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$ , Vorzeichenfestlegung

Fläche unter dem Grafen  $p(V)$  als Maß für die Volumenarbeit  
 Sonderfälle  $W_m = 0$  bei isochoren,  $W_m = -p \cdot \Delta V$  bei isobaren  
 und  $W_m = m \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_1}{V_2}$  bei isothermen Zustandsänderungen

6.2.3. Erster Hauptsatz und seine Anwendungen  
auf ideale Gase

(4 Stunden)

Erster Hauptsatz  $\Delta E_{th} = W_m + Q$ ; Unmöglichkeit eines perpetuum mobile erster Art

Übertragung thermischer Energie durch Wärme bei isobaren Zustandsänderungen des idealen Gases  $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$  und bei isochoren Zustandsänderungen  $Q = c_v \cdot m \cdot \Delta T$

Unabhängigkeit der thermischen Energie eines idealen Gases vom Volumen (Versuch von Gay-Lussac) bzw. vom Druck:  $E_{th} = c_v \cdot m \cdot T$

Anwenden des ersten Hauptsatzes auf isobare, isochore und isotherme Zustandsänderungen des idealen Gases, Gedankenversuch von J. R. Mayer, Zusammenhang  $c_p - c_v = R$

Adiabatische Zustandsänderungen, Anwenden des ersten Hauptsatzes, Gleichungen  $T \cdot V^{\chi-1} = \text{konst.}$  und  $p \cdot V^{\chi} = \text{konst.}$ ,  
 $\Delta E_{th} = W_m$  und  $W_m = -\frac{m \cdot R}{\chi - 1} (T_2 - T_1)$

Hinweis auf polytrope Zustandsänderungen

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

Demonstrationsexperimente:  
 .....

Verrichten mechanischer Arbeit (Reibungsarbeit) zur Erhöhung der thermischen Energie

Pneumatisches Feuerzeug

6.2.4. Carnotscher Kreisprozeß, thermischer Wirkungsgrad

(3 Stunden)

Kreisprozesse im  $p$ - $V$ -Diagramm, Carnotscher Kreisprozeß, rechts- und linksläufige Kreisprozesse

thermischer Wirkungsgrad  $\eta = -\frac{W}{Q_1}$ , Energiebilanz beim Carnot-  
 prozeß, Wirkungsgrad  $\eta = \frac{Q_1+Q_2}{Q_1}$  beim rechtsläufigen Prozeß,  
 Gewinnen von  $\eta = \frac{T_1-T_2}{T_1}$ , Möglichkeit zur Wärmepumpe und zur  
 Kältemaschine, Leistungszahl  $\epsilon = \frac{T_1}{T_1-T_2}$  beim Linksprozeß

### 6.2.5. Technische Kreisprozesse (3 Stunden)

Wärme- und Kältemaschinen als periodisch arbeitende Maschinen, Wirkungsweise des Viertakt-Otto- und des Viertakt-Diesel-Motors, p-V-Diagramm des Viertakt-Otto-Prozesses (Indikatordiagramm)  
 Anwenden des ersten Hauptsatzes auf den idealen Viertakt-Otto-Prozeß

Gasturbinenprozeß (Joule-Prozeß) und Kraftwerksprozeß (Clausius-Rankine-Prozeß), Funktionsprinzip und Blockschaltpläne, Wirkungsgrade; Reduzierung der Umweltbelastung

Kompressionskältemaschine, Hinweis auf Joule-Thomson-Effekt; Wärmepumpen und ihre energiewirtschaftliche Bedeutung

### 6.2.6. Übung und Anwendung (3 Stunden)

Berechnen von Temperaturen bei kalorimetrischen Mischungsvorgängen; Berechnen von Volumenarbeit und Wärme bei Zustandsänderungen idealer Gase; Berechnen von Wirkungsgrad bzw. Leistungszahl bei rechts- bzw. linksläufigen Kreisprozessen; Berechnen von Zustandsgrößen, Wärme und Volumenarbeit beim idealisierten Viertakt-Otto-Prozeß

### Leistungskontrolle 2 Stunden

## 6.3. Zweiter Hauptsatz 7 Stunden

### 6.3.1. Umwandlung thermischer Energie, Zweiter Hauptsatz (3 Stunden)

Reversible und irreversible Prozesse

Möglichkeiten zur Umwandlung thermischer Energie in andere Energieformen

perpetuum mobile zweiter Art



Vergleich des Wirkungsgrades reversibler und irreversibler Kreisprozesse mit dem Wirkungsgrad des Carnot-Prozesses:

$$\eta \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad \text{Reduzierte Wärme } \frac{Q}{T}; \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

für Kreisprozesse

Äquivalente Formulierungen des zweiten Hauptsatzes

### 6.3.2. Entropie (4 Stunden)

Entropieänderung  $\Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{dQ}{T}$  bei reversiblen Prozessen

zwischen den Zuständen (1) und (2)

$\Delta S = 0$  für den Carnotprozeß insgesamt

T-S-Diagramme, Flächeninhalt unter dem Grafen T(S) als Maß für die Wärme, T-S-Diagramm für den Carnotprozeß

Formulierung des zweiten Hauptsatzes mit Hilfe der Entropie

$$\Delta S \geq 0$$

Entropiezunahme bei Wärmeaustausch zwischen zwei Systemen;

Entropieänderung bei speziellen Zustandsänderungen des idealen

Gas:  $\Delta S = m \cdot R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$  bei isothermen und  $\Delta S = c_v \cdot m \cdot \ln \frac{T_2}{T_1}$

bei isochoren Zustandsänderungen

Entropiezunahme und der Verlust an frei verfügbarer Energie bei irreversiblen Prozessen

Hinweis auf die Möglichkeit der statistischen Definition der Entropie  $S = k \cdot \ln W$

### 6.4. Thermodynamisches Verhalten der Stoffe 11 Stunden

#### 6.4.1. Lineare und kubische Ausdehnung (2 Stunden)

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  $\gamma$ , Ausdehnung von Flüssigkeiten in Gefäßen

Beziehung  $\gamma = 3\alpha$

Demonstrationsexperiment:  
.....

Lineare und kubische Ausdehnung von Körpern

### 6.4.2. Phasenumwandlungen, Umwandlungswärme (4 Stunden)

Begriffe: Phase, Aggregatzustand, Komponente

Gesamtdruck in einem Gas als Summe der Partialdrücke seiner Komponenten (Daltonsches Gesetz)

p-V-Diagramm realer Gase, kritischer Punkt; Gleichgewicht zwischen flüssiger und gasförmiger Phase (Dämpfe)

Phasenumwandlungen und dabei auftretende Umwandlungswärme, T-Q-Diagramme, spezifische Umwandlungswärme  $q = \frac{Q_u}{m}$  beim Schmelzen (Erstarren) und Verdampfen (Kondensieren) am Beispiel des Wassers.

Druckabhängigkeit der Umwandlungstemperatur und -wärme

Mikroskopische Deutung des Verdampfens, Verdunstens und Sublimierens

Phasen und Phasenübergänge im p-T-Diagramm, Tripelpunkt des Wassers

Schülerexperimente:

.....

Bestimmen der spezifischen Schmelzwärme oder der spezifischen Kondensationswärme von Wasser

Demonstrationsexperiment:

.....

Abhängigkeit von Umwandlungstemperaturen vom Druck

### 6.4.3. Transport thermischer Energie in Stoffen 3 Stunden

Wärmeleitung als Transport thermischer Energie in einem Stoff,

$Q = \lambda \cdot \frac{A}{l} \cdot (T_2 - T_1) \cdot t$ , spezifische Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  ;

Wärmestrom  $\Phi = \frac{Q}{t}$  ; Wärmeleitwiderstand  $R_w = \frac{T_2 - T_1}{\Phi}$  ; Analogie

zur Beschreibung elektrischer Leitungsvorgänge; qualitative Zusammenhänge zwischen elektrischer Leitung und Wärmeleitung bei Metallen (Wiedemann-Franzsches-Gesetz)

Wärmeübergang als Transport thermischer Energie von einem System durch die Systemgrenze hindurch in ein angrenzendes,

$Q = \alpha \cdot A \cdot (T_2 - T_1) \cdot t$ , Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha$  ; Hinweis auf

Wärmedurchgang als Kombination von Leitung und Übergang

## Wärmeleitung und -übergang an elektronischen Bauelementen

### Demonstrationsexperimente:

.....  
Wärmeleitvermögen fester Stoffe

Wärmeleitvermögen von Gasen, Leidenfrostsches Phänomen

#### 6.4.4. Übung und Anwendung

(3 Stunden)

Berechnen der linearen und kubischen Ausdehnung von festen und flüssigen Körpern; kalorische Mischungsaufgaben unter Einbeziehung von Phasenübergängen; Berechnen zur Wärmeleitung und zum Wärmeübergang an elektronischen Bauelementen

#### Leistungskontrolle

2 Stunden

## 7. Relativitätstheorie

=====

10 Stunden

=====

Dieses Stoffgebiet fördert die weltanschauliche Erziehung der Schüler insbesondere dadurch, daß physikalische Erkenntnisse genutzt werden, um das Verständnis der Schüler für solche Begriffe wie Raum, Zeit und Materie zu vertiefen.

Die Schüler erfahren, daß spezielles Relativitätsprinzip und Konstanz der Lichtgeschwindigkeit mit der Gesamtheit der gefolgerten Resultate den Inhalt der speziellen Relativitätstheorie darstellen. Sie erkennen, daß die klassische Mechanik als Sonderfall in einer umfassenderen Theorie enthalten ist. Der Zusammenhang zwischen Raum- und Zeitkoordinaten bei der Lorentz-Transformation dient der Verdeutlichung der Einheit von Raum und Zeit. In diesem Stoffgebiet werden hohe Anforderungen an das Abstraktionsvermögen der Schüler gestellt. Methodisch tritt der Lehrervortrag in den Vordergrund. Er sollte auch im Sinne der Hochschulvorbereitung bewußt eingesetzt werden.

Übungen werden mit den Gleichungen für Lorentz-Transformation, Zeitdilatation, Längenkontraktion, Masseänderung und Masse-Energie-Äquivalenz durchgeführt.

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

### 7.1. Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie 4 Stunden

Galileitransformation, klassisches Relativitätsprinzip, klassisches Additionstheorem für Geschwindigkeiten

Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in allen Inertialsystemen, spezielles Relativitätsprinzip

Michelson-Experiment

Lorentztransformation für Orts- und Zeitkoordinaten

### 7.2. Ergebnisse der speziellen Relativitätstheorie 6 Stunden

Längenkontraktion, Zeitdilatation, experimentelle Bestätigung der Längenkontraktion und der Zeitdilatation (z. B. Myonen in der Höhenstrahlung und im Labor, Mößbauereffekt bei Experimenten mit Zentrifugen, Atomuhren im Überschallflugzeug; Rotverschiebung der Spektren bei Kanalstrahlen)

Relativität der Gleichzeitigkeit

Relativistisches Additionstheorem der Geschwindigkeiten, Vakuumlichtgeschwindigkeit als Grenzggeschwindigkeit

Relativistische Veränderlichkeit der Masse, Ruhmasse, Masseänderung in Teilchenbeschleunigern

Masse-Energie-Äquivalenz, Zusammenhang von Ruhenergie und Ruhmasse, Hinweis auf experimentelle Belege und Anwendungen aus der Kernphysik

Klassische Physik und relativistische Physik

Leben und Werk von Albert Einstein

### 8. Praktikum

=====

48 Stunden

=====

In den Klassen 11 und 12 wird ein jeweils 24 Stunden umfassendes Praktikum durchgeführt. Für diese Praktika gelten sinngemäß die Ziele und Hinweise wie für das Praktikum in Klasse 10.

In Klasse 11 wird das Praktikum im zweiten Halbjahr durchgeführt. Jeder Schüler bearbeitet 10 Praktikumsexperimente, wobei

empfohlen wird, die Experimente zum Teil als Einzelexperimente zu gestalten. Vier Experimente sind unter prüfungsähnlichen Bedingungen durchzuführen.

In Klasse 12 wird das Praktikum zeitlich so eingeordnet, daß es spätestens vor Beginn der schriftlichen Reifeprüfung abgeschlossen ist. Jeder Schüler führt 12 Praktikumsexperimente, davon sechs unter prüfungsähnlichen Bedingungen, durch.

Das bis zur Klasse 10 erworbene Wissen der Schüler über Fehlerbetrachtungen ist zu festigen und zu Beginn des Praktikums der Klasse 11 in zwei Doppelstunden zu erweitern. Im Vordergrund stehen hierbei das Benutzen von Elementen der Fehlerrechnung (Mittelwertbildung, mittlerer quadratischer Fehler, Standardabweichung) und von Elementen der Fehlerfortpflanzung (Fehler von Summen, Differenzen, Produkten, Quotienten, Potenzen und Winkelfunktionen).

### 8.1. Praktikum Klasse 11

24 Stunden

#### Praktikumsexperimente:

1. Bestimmen des Haft- und Gleitreibungskoeffizienten durch Winkelmessung an der geneigten Ebene
2. Bestimmen der Fallbeschleunigung mittels Fadenpendel
3. Bestimmen von Stoßkraft und Stoßdauer beim elastischen Stoß einer Kugel
4. Bestimmen der Geschwindigkeit eines Körpers mit Hilfe des Stoßpendels
5. Bestimmen der Strömungsgeschwindigkeit der Luft mit der Venturidüse
6. Bestimmen der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen in Luft
7. Aufbauen und Erproben von Schaltungen zum Meißner- und Wiengenerator
8. Aufnehmen der Resonanzkurve von Schwingkreisen
9. Bestimmen der Phasenverschiebung eines R-C- bzw. R-L-Gliedes in einem Wechselstromkreis

10. Untersuchen des Übertragungsverhaltens eines RC-Hochpasses und eines RC-Tiefpasses
11. Bestimmen der Brechzahl von Glas aus der Parallelverschiebung des Lichtes an einer planparallelen Platte
12. Bestimmen der Brennweite einer dünnen Zerstreulinse
13. Bestimmen der Wellenlänge von monochromatischem Licht mit Hilfe des Doppelkeilspaltes und Ermitteln der Gitterkonstanten
14. Bestimmen der Wellenlänge monochromatischen Lichtes mit Hilfe der Newtonschen Ringe



Praktikumsexperimente:  
.....

1. Bestätigen der Zustandsgleichung des idealen Gases mit Hilfe des p-V-T-Gerätes
2. Ermitteln der spezifischen Kondensationswärme des Wasserdampfes
3. Ermitteln der Schmelzwärme von Eis
4. Bestimmen des linearen Ausdehnungskoeffizienten verschiedener Stoffe
5. Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität einer Flüssigkeit
6. Bestimmen der spezifischen Wärmekapazität eines festen Metallkörpers
7. Abschätzen eines Moleküldurchmessers
8. Untersuchen des Wasserstoffspektrums mit dem Spektralapparat, Bestimmen der Rydbergkonstante und der Planckschen Konstante
9. Aufnehmen der Dispersionskurve des Spektralapparates mit Hilfe des Heliumspektrums und Bestimmen der Wellenlängen für die sichtbaren Linien der Neonspektralröhre
10. Bestimmen des Planckschen Wirkungsquantums mit Hilfe des äußeren und des inneren lichtelektrischen Effektes
11. Aufnehmen einer Zählrohrcharakteristik
12. Bestimmen der Halbwertszeit von Ba - 137 m
13. Bestimmen der Ladung eines Kondensators mit Hilfe der Entladungskurve  $I(t)$
14. Messen von Frequenzen mit dem Katodenstrahloszillographen
15. Bestimmen von Ohmschen Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten mit einer Meßbrücke

Ausgangspunkt der ersten Stoffeinheit zur Physik der Elektronenhülle des Atoms sind historische Betrachtungen zur Entstehung des Quantenmodells der Strahlung. Dabei ist insbesondere die Leistung von M. Planck zu würdigen. Im Mittelpunkt steht die erkenntnistheoretische Frage nach der Natur des Lichts.

In der folgenden Stoffeinheit wird die Existenz diskreter Energieniveaus für die in einer Atomhülle gebundenen Elektronen herausgearbeitet. Dabei ist von experimentellen Befunden (Stoßversuche von Franck und Hertz, Linienspektren atomarer Gase) auszugehen. Im Zusammenhang mit den Spektren und der Lichtverstärkung im Laser wird auf die praktische Nutzung physikalischer Gesetze und Erkenntnisse eingegangen.

Im Stoffabschnitt "Atomkerne" lernen die Schüler Grundvorstellungen zum Aufbau der Kerne kennen. Bei der Behandlung der Bindungsverhältnisse im Kern wenden die Schüler ihre Kenntnisse über die Masse-Energie-Äquivalenz an.

Das bei Kernumwandlungen geltende Zerfallsgesetz wird als weiteres Beispiel für das Wirken statistischer Gesetze in der Physik erläutert.

Die Möglichkeit, Atomkerne durch gezielte Einwirkung zu verändern, werten die Schüler als Beispiel dafür, daß Wissenschaftler auch in der Kernphysik in der Lage sind, auf der Grundlage erkannter physikalischer Gesetze aktiv Einfluß auf die Veränderung der Natur zu nehmen. Dabei werden die wissenschaftlichen Leistungen der Forscher M. Curie, F. Joliot-Curie, O. Hahn und J. W. Kurtschatow gewürdigt. Der Einsatz dieser Gelehrten dafür, daß wissenschaftliche Erkenntnisse ausschließlich für humanistische Anliegen der Gesellschaft angewendet werden, ist herauszustellen. Insbesondere wird auch der Kampf der Sowjetunion und ihrer Verbündeten gegen die Gefahr eines nuklearen Krieges und für die ausschließlich friedliche Nutzung der Kernenergie hervorgehoben.

Die Behandlung der Wechselwirkung zwischen der Kernstrahlung und anderen Stoffen bietet die Möglichkeit, auf Erhaltungssätze

und ihre Bedeutung für die Physik einzugehen. Dabei wird die Überzeugung der Schüler von der Unerschaffbarkeit und Unzerstörbarkeit der Materie gefestigt.

Im Zusammenhang mit Eigenschaften der Kernstrahlung sind Möglichkeiten des Strahlenschutzes erzieherisch wirksam zu behandeln.

9.1. Elektronenhülle 14 Stunden

9.1.1. Strahlungsgesetze, äußerer lichtelektrischer Effekt (3 Stunden)

Wärmestrahlung und Licht als Energieströmung

$$\text{Stefan-Boltzmann-Gesetz } P = A \cdot \sigma \cdot T^4$$

$$\text{Wiensches Verschiebungsgesetz } \lambda_{\text{max}} \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Plancksches Strahlungsgesetz (qualitativ)

$$\text{Energiequantelung der Strahlung } E = N \cdot h \cdot f$$

Würdigung von M. Planck

Äußerer lichtelektrischer Effekt, Gesetzmäßigkeiten

Unvereinbarkeit der Ergebnisse des äußeren lichtelektrischen Effektes mit dem Wellenmodell, Lichtquantenmodell, Einsteinsche Deutung des lichtelektrischen Effektes  $h \cdot f = W_A + E_K$

Verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Planckschen Konstanten

9.1.2. Energieniveaus der Hüllenelektronen, Spektren (6 Stunden)

Stoßversuche von J. Franck und G. Hertz, Deutung der experimentellen Befunde

Linienpektrum des Wasserstoffatoms, Balmer-Formel und deren Verallgemeinerung  $f = R \cdot \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ , Rydberg-Konstante R, Spektralserien,

Seriengrenze, Termschema

Erklärung der Lichtemission mit dem Bohrschen Atommodell, Leistungen und Grenzen des Modells, Würdigung von N. Bohr Hinweis auf die Heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation und die Konsequenzen für Linienbreite und Bahnbegriff

Spektren molekularer Stoffe und von Festkörpern, Systematisie-

rung der Spektren nach unterschiedlichen Kriterien (Linien-  
spektrum, Bandenspektrum, kontinuierliches Spektrum;

**Emissions-, Absorptions- und Reflexionsspektrum; Dispersions-  
und Beugungsspektrum)**

Aufbau eines Spektroskops oder Spektrometers und seine Anwen-  
dung in Physik, Chemie, Medizin, Kriminalistik

Röntgenstrahlung, Bremsstrahlung und charakteristische Strahlung

Eigenschaften und Anwendung der Röntgenstrahlung

Schülerexperiment:

.....

Bestimmung der Planckschen Konstanten mittels LED

Demonstrationsexperimente:

.....

Äußerer lichtelektrischer Effekt

Bestimmung der Planckschen Konstanten mittels Gegen-  
feldmethode

Sichtbares Linienspektrum von H-Atomen

Lichtabsorption durch angeregte Gase

Banden- und kontinuierliche Spektren

Franck-Hertz-Experiment

### 9.1.3. Laser

(3 Stunden)

Spontane und induzierte Emission, metastabile Zustände,  
3- und 4-Niveau-Laser, Aufbau von Festkörperlaser, Gaslaser,  
Halbleiterlaser

Eigenschaften der Laserstrahlung

Anwendungen der Laser

### 9.1.4. Übung und Anwendung

(2 Stunden)

Berechnungen zum äußeren Photoeffekt

Berechnungen zum Franck-Hertz-Experiment

Berechnen der Frequenz von Linien des Wasserstoffspektrums

## 9.2. Atomkerne

20 Stunden

### 9.2.1. Aufbau der Atomkerne

(3 Stunden)

Rutherford'sche Streuversuche, Rutherford'sches Atommodell  
Aufbau der Kerne aus Protonen und Neutronen, Daten der  
Nukleonen, Kerndiagramme  
Isobare, isotope und isotone Kerne  
Kernkräfte (Reichweite, Größenordnung), Bindungsenergie und  
Massendefekt  
Tröpfchenmodell, Hinweis auf weitere Kernmodelle

### 9.2.2. Spontane Kernumwandlungen

(4 Stunden)

Spontanzerfall von Atomkernen, Radioaktivität (Entdeckung durch  
Becquerel, Würdigung von M. Curie)  
Arten radioaktiver Strahlung; Entstehung, Eigenschaften, Identifi-  
kation; Nachweisgeräte für radioaktive Strahlung  
Zerfallsgesetz als statistisches Gesetz:  $N_1 = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$ ,  
 $N_2 = N_0 \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t})$ ,  $N_1 + N_2 = N_0$ ; Zerfallskonstante,  
Halbwertszeit, Zerfallsreihen  
Möglichkeiten des Schutzes vor radioaktiver Strahlung

Demonstrationsexperimente:

- .....
- Ablenkung von  $\alpha$  - und  $\beta$  -Strahlung im Magnetfeld
- Nichtablenkbarkeit von  $\gamma$  -Strahlung im Magnetfeld
- Nachweis radioaktiver Strahlung mittels Fotcemulsion,  
Zählrohr und Nebelkammer

### 9.2.3. Künstliche Kernumwandlungen

(6 Stunden)

Beispiele für künstliche Kernumwandlungen mit Hilfe von  $\alpha$  -Teil-  
chen, Protonen, Neutronen,  $\gamma$  -Quanten und leichten Kernen  
Beispiele für künstliche Radioaktivität, Würdigung von F. Joliot-  
Curie  
Kernfusion: Bindungsenergie, Massendefekt, Energiebilanz;  
ungesteuerte und gesteuerte Kernfusion; Forschungsanlagen für  
gesteuerte Kernfusion

Kernspaltung: Historische Experimente zur Kernspaltung, Würdigung von O. Hahn, Kettenreaktion, kritische Masse, Kernreaktor, schnelle Brüter, Energiebilanzen; ungesteuerte Kettenreaktion in der Atombombe, Würdigung von J. W. Kurtschatow

Erzeugung und Anwendung radioaktiver Nuklide

Demonstrationsexperimente:  
.....

Modellexperimente zur Anwendung radioaktiver Nuklide

#### 9.2.4. Wechselwirkung der Kernstrahlung mit

Stoffen

(4 Stunden)

Absorption der  $\alpha$ -Strahlung, Absorptionsgesetz  $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$ , linearer Schwächungskoeffizient, Halbwertsdicke

Absorption der  $\gamma$ -Strahlung, Absorptionsgesetz  $I = I_0 \cdot e^{-\mu x}$  mit  $\mu = \tau$  (Fotoeffekt) +  $\sigma$  (Comptoneffekt) +  $\kappa$  (Paarbildung)

Fotoeffekt bei  $\gamma$ -Strahlung

Comptoneffekt, Änderung der Wellenlänge  $\Delta\lambda = \frac{2h}{m_0c} \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2}$ ,

Compton-Wellenlänge:  $\lambda_c = \frac{h}{m_0c} = 2,426 \text{ pm}$

Paarbildung (Energie-Masse-Äquivalenz), Paarzerstrahlung

#### 9.2.5. Übung und Anwendung

(3 Stunden)

Berechnungen zum Zerfallsgesetz, Ermitteln von Halbwertszeiten und Zerfallskonstanten

Auswerten von Kerndiagrammen und Zerfallsreihen

Anwenden der Erhaltungssätze für Energie und Impulse auf den Comptoneffekt und auf die Paarbildung

Ermitteln von linearen Schwächungskoeffizienten und Halbwertsdicken

Leistungskontrolle

2 Stunden



Die Zielstellung des Stoffgebiets besteht darin, die weltanschaulichen Überzeugungen der Schüler von der materiellen Einheit der Welt, von der Erkennbarkeit und von der Entwicklung der Objekte im Kosmos zu erweitern und zu vertiefen.

Bei der Anwendung physikalischer Gesetze auf Prozesse im Kosmos erkennen die Schüler, daß auf der Erde und im Kosmos unter gleichen Bedingungen die gleichen Naturgesetze gelten. Sie werden befähigt, mit physikalischen Gesetzen Vorgänge im Kosmos zu erklären und physikalische Größen, die Eigenschaften astronomischer Objekte charakterisieren, zu berechnen.

Bei der Behandlung von Zustandsgrößen und Entwicklungsprozessen kosmischer Objekte werden den Schülern zugleich wesentliche Methoden erläutert, die zur Erkenntnisgewinnung in der Astrophysik angewendet werden. Dabei erkennen sie, daß durch planmäßige Beobachtung und theoretische Auswertung von Beobachtungsergebnissen die Eigenschaften der kosmischen Objekte der menschlichen Erkenntnis zugänglich sind und daß zur Erkenntnisfindung auf der Erde und im Kosmos prinzipiell gleiche theoretische und praktische Methoden angewendet werden. Einige astronomische Objekte und Erscheinungen sollen die Schüler auch selbst beobachten.

Die bei der Kernfusion in der Sonne ablaufende Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Sonne, die Entstehung und Entwicklung von Sternen sowie die Expansion der Metagalaxis werden von den Schülern als Beispiele dafür erkannt, daß im Kosmos ständig Entwicklungsprozesse ablaufen. Sie werten als Ausdruck des wissenschaftlichen Fortschritts, daß jahrtausendlang anerkannte Vorstellungen über ein unveränderliches Weltall durch wissenschaftliche Erkenntnisse über die Evolution im Kosmos abgelöst worden sind.

### 10.1. Sonne

5 Stunden

Zustandsgrößen der Sonne: Masse  $M$ , Temperatur  $T$ , Leuchtkraft (Strahlungsleistung)  $P$ , Radius  $R$ , mittlere Dichte  
Rotation der Sonne

Zusammensetzung der Sonnenstrahlung, Bestrahlungsstärke (Solar-konstante)  $E$ , Berechnung der Leuchtkraft, Berechnung der effektiven Temperatur mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz

Sonnenspektrum, Berechnung des Strahlungsmaximums mit dem Wienschen Verschiebungsgesetz

Photosphäre: Randverdunklung, Sonnenflecke;  
Hinweis auf Dynamomodell des solaren Magnetfeldes  
Andere Erscheinungen der Sonnenaktivität

Druck  $p(r)$ , Druckgleichgewicht im Inneren der Sonne

Nachweis, daß die Sonnenenergie nicht durch Verbrennung oder durch Kontraktion freigesetzt werden kann;  
Proton-Proton- und Kohlenstoff-Stickstoff-Zyklus bei der Kernfusion, Bedingungen für die Kernfusion, Berechnung der bei der Kernfusion in der Sonne freigesetzten Energie, Berechnung der "Lebensdauer" der Sonne

Einfluß der Sonnenstrahlung auf die Erde (z. B. Veränderungen der Ionosphäre, Deformation des magnetischen Feldes der Erde, Polarlichter)

Demonstrationsexperimente und Beobachtungen:

Bestimmen der Solarkonstante

Sonnenspektrum

Messung des Helligkeitsverlaufs im Projektionsbild der Sonne

Bestimmung des Radius eines Sonnenflecks

Bestimmung der Geschwindigkeit eines Sonnenflecks während der Rotation der Sonne

## 10.2. Sterne

6 Stunden

Entfernung der Sterne, trigonometrische Parallaxe, Parsec und Lichtjahr als Einheiten der Entfernung

Zusammenhang von Bestrahlungsstärke  $E$  und scheinbarer Helligkeit  $m$  der Sterne:  $m_1 - m_2 = 2,5 \cdot \lg E_2/E_1$ ; Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke von der Entfernung des Sterns:  $E \sim P/r^2$ ;

absolute Helligkeit  $M = m + 5 - 5 \cdot \lg r$  ( $r$  in pc),  $M = 4,62 - 2,5 \cdot \lg P$  (für  $P_{\text{Sonne}} = 1$ ); photometrische Bestimmung der Entfernung von Sternen

Sternspektren, Temperaturen der Sterne, Spektralklassen  
Zusammenhänge zwischen den Zustandsgrößen der Sterne, Hertzsprung-Russell-Diagramm, Masse-Leuchtkraft-Beziehung, Berechnung der Masse bei Doppelsternen, Bestimmung des Radius bei Bedeckungssternen

Entstehung eines Sterns, Voraussetzungen in der interstellaren Wolke (Radius, Masse) für die Sternentstehung, Druckgleichgewicht bei stabilen Hauptreihensternen, Berechnung der Temperatur im Sterninnern

Nachhauptreihenstadien der Sterne: Riesen, Pulsationsveränderliche, Gravitationskollaps, Endstadien

Demonstrationsexperimente und Beobachtungen:

Modellexperiment zur **trigonometrischen Parallaxe**

Abhängigkeit der Bestrahlungsstärke von der Entfernung der Lichtquelle

Abhängigkeit der Zusammensetzung der Strahlung von der Temperatur

Helligkeiten und Farben von Sternen

Doppelsternsystem

### 10.3. Sternsysteme

3 Stunden

Offene Sternhaufen, Kugelsternhaufen, interstellare Materie  
Struktur und Rotation unserer Galaxis, Berechnung der Masse unserer Galaxis, Strukturen anderer Galaxien

Spektren der Galaxien, Rotverschiebung der Spektrallinien

$f = f_0 \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$ , Radialgeschwindigkeit der Galaxien, Hubble-

Gesetz

Frühphase des Kosmos,  $\gamma$ -K-Strahlung, Entwicklungsprozesse im Kosmos

Demonstrationsexperimente und Beobachtungen:

.....  
Modellexperiment zur Galaxienflucht

Milchstraße, offener Sternhaufen, Kugelsternhaufen,  
außergalaktisches Sternsystem

10.4. Übung und Anwendung

2 Stunden

Berechnen von Leuchtkräften, Helligkeiten, Entfernungen,  
Massen und Radien von Sternen

Interpretieren von Beobachtungsdaten eines Sterns

Leistungskontrolle

2 Stunden

**11. Mechanik**

**48 Stunden**

=====

=====

Die Behandlung der Mechanik in Klasse 12 baut auf dem Wissen und Können der Schüler aus den Klassen 9 und 10 auf. Die dort behandelten Begriffe und Gesetze werden wiederholt und vertieft. Die Begriffe Trägheitsmoment und Drehimpuls sowie das Gesetz von der Erhaltung des Drehimpulses werden neu eingeführt.

Das höhere Niveau der Behandlung der Mechanik in Klasse 12 besteht darin, daß die mathematische Beschreibung mit Hilfe der Differential-, Integral- und Vektorrechnung erfolgt. Die Schüler sollen dabei erkennen, daß mechanische Vorgänge durch verschiedene mathematische Modelle beschrieben werden können und daß mit Mitteln der höheren Mathematik formulierte Gleichungen auch für solche Vorgänge gelten, die mit Hilfe elementarer Mittel mathematisch nicht zu beschreiben waren.

Bei der Erarbeitung der für die Rotation des starren Körpers geltenden Gesetze sind Analogiebetrachtungen zu den entsprechenden Gesetzen der Translation durchzuführen. Dadurch wird den Schülern das Einprägen der Gesetze erleichtert.

Die Analogiebetrachtungen sind auch bei der experimentellen Untersuchung der Abhängigkeit der Winkelbeschleunigung vom Drehmoment und vom Trägheitsmoment anzuwenden.

Auf die Problematik, daß am starren Körper nur die Rotation um eine raum- und körperfeste Achse zu einem skalaren Trägheitsmoment bezüglich dieser Achse führt und hier nur die Komponenten von  $\underline{M}$  und  $\underline{\alpha}$  bzw.  $\underline{L}$  und  $\underline{\omega}$  bezüglich dieser Achse betrachtet werden, ist besonders hinzuweisen.

Die Möglichkeiten zur Wiederholung grundlegenden Wissens und Könnens aus der Mechanik sind zielstrebig für die Vorbereitung auf die Reifeprüfung zu nutzen. Schwerpunkte sind dabei das Anwenden von Gesetzen zum Erklären von Vorgängen und zum Berechnen von Größen (insbesondere auch im Zusammenhang mit technischen Anwendungen), das Interpretieren von Diagrammen, das Herleiten spezieller aus allgemeinen Gesetzen und das Anwenden allgemeiner Gesetze auf spezielle Fälle (einschließlich Durchführen von Fallunterscheidungen). Zur Vorbereitung auf die schriftliche Reifeprüfung soll eine mehrstündige Klassenarbeit geplant werden.

## 11.1. Mechanik des Massepunktes

20 Stunden

### 11.1.1. Bewegung auf einer Geraden

(3 Stunden)

Wiederholung der Begriffe Massepunkt, Geschwindigkeit, Beschleunigung und der Gesetze der gleichförmigen sowie der gleichmäßig beschleunigten Bewegung

Geschwindigkeits- und Beschleunigungsordinate in x-Richtung:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x}, \quad a_x = \frac{dv_x}{dt} = \ddot{x}$$

Interpretieren von Diagrammen  $a_x(t)$ ,  $v_x(t)$ ,  $x(t)$ ; physikalische Bedeutung der Anstiege, Extrema und Nullstellen

Ort-Zeit-Funktion  $x(t)$  als Stammfunktion der Geschwindigkeit-Zeit-Funktion  $v_x(t)$ ;  $\int_{t_1}^{t_2} v_x(t) dt = x(t_2) - x(t_1)$  als zurückgelegter Weg, wenn  $v_x(t)$  im Intervall  $(t_1; t_2)$  keine Nullstellen hat; Interpretation im  $v_x(t)$ -Diagramm

Demonstrationsexperiment:  
.....

Annäherung des Differenzenquotienten  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  an  $\dot{x}$

### 11.1.2. Bewegung in der Ebene

(2 Stunden)

Vektorielle Beschreibung der Bewegung eines Massepunktes in der Ebene durch den Ortsvektor  $\vec{r}(t) = x(t) \vec{i} + y(t) \vec{j}$  im kartesischen Koordinatensystem  $\{0; \vec{i}; \vec{j}\}$

Differentiation eines Vektors nach einem Skalar; Geschwindigkeitsvektor  $\vec{v}(t) = \dot{x} \vec{i} + \dot{y} \vec{j}$ ; Beschleunigungsvektor  $\vec{a}(t) = \ddot{x} \vec{i} + \ddot{y} \vec{j}$

Spezialisierung der allgemeinen Aussagen auf die gleichförmige Kreisbewegung, Herleitung von  $\vec{a} = -\omega^2 \cdot \vec{r}$  und  $\vec{r} \perp \vec{v}$

Ausblick auf die Beschreibung der Bewegung eines Massepunktes im Raum

### 11.1.3. Bewegungsgleichung

(3 Stunden)

Newtonsches Grundgesetz  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ; Folgern von  $F_x = m \cdot \ddot{x}$   
 $F_y = m \cdot \ddot{y}$  und  $F_z = m \cdot \ddot{z}$

Anwendungen der Bewegungsgleichung: z. B. Coulombkraft auf Elektron im Plattenkondensator bei Anliegen einer Kippspannung  $U \sim t$  (physikalische Bedeutung der Integrationskonstanten); schräger Wurf mit Anfangshöhe (Hinweis auf ballistische Probleme); harmonischer Federschwinger (Nachweis, daß  $x = x_m \cdot \cos \omega \cdot t$  Lösung der Bewegungsgleichung ist)

Schülerexperiment:

.....

Bestimmen des Winkels  $\alpha_m$  für maximale Wurfweite beim schrägen Wurf in Abhängigkeit von der Anfangshöhe  $h_0$  (x)

Demonstrationsexperiment:

.....

Messung der Geschwindigkeit bei ungleichförmigen Bewegungen

### 11.1.4. Kraftstoß und Impuls

(2 Stunden)

Kraftstoß  $\vec{S} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t) dt$  als Prozeßgröße, Impuls  $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$  als Zustandsgröße

Kraftstoß und Impulsänderung für einfache Funktionen  $F(t)$ :



$$\int_{t_1}^{t_2} F(t) dt = m \cdot v(t_2) - m \cdot v(t_1)$$

Anwendung des Impulserhaltungssatzes auf Stoßprozesse in der Ebene und im Raum

Demonstrationsexperiment:

.....  
 Perkussionsapparat

11.1.5. Arbeit und Energie

(4 Stunden)

Mechanische Arbeit  $W = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F}(r) \cdot d\vec{r}$  als skalare Prozeßgröße, Arbeit im Gravitationsfeld; Unterschied zwischen Arbeit, die durch die Gravitationskraft, und Arbeit, die gegen die Gravitationskraft verrichtet wird

Potentielle Energie  $E_p = -\gamma \cdot m \cdot m_E / r$  im Gravitationsfeld der Erde

Beschleunigungsarbeit  $W = \int_{r_1}^{r_2} m \cdot \vec{a}(r) \cdot d\vec{r} = \frac{m}{2} \cdot v_2^2 - \frac{m}{2} \cdot v_1^2$

Kinetische Energie  $E_k = \frac{m}{2} \cdot v^2$

Federspannarbeit  $W = \int_{r_1}^{r_2} \vec{F}(r) \cdot d\vec{r}$  mit  $\vec{F} = -k \cdot \vec{r}$  und mit nicht harmonischen Ansätzen (z. B.  $F \sim x^n$  mit  $n > 1$ )

Wiederholung und Anwendung des Gesetzes von der Erhaltung der Energie bei abgeschlossenen mechanischen Systemen  $\Delta E_k = -\Delta E_p$

Schülerexperiment:

.....  
 Bestimmen der Arbeit bei Deformation einer Blattfeder

11.1.6. Übung und Anwendung

(6 Stunden)

Berechnen von  $v(t)$  und  $a(t)$  durch Differenzieren der Funktion  $x(t)$

Berechnen von  $v(t)$  und  $x(t)$  durch Integrieren der Funktion  $a(t)$  unter Beachtung der Anfangsbedingungen

Berechnen der zweiten kosmischen Geschwindigkeit

Ermitteln der Impulsänderung eines Körpers durch den Kraftstoß einer gespannten Feder (Berechnen des Kraftstoßes bei bekannt-

tem  $x(t)$  oder Anwenden des Energiesatzes)

Experimentelle Untersuchung der Abhängigkeit der Periodendauer des mathematischen Pendels von der Amplitude; Bestätigung der Gleichung  $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \cdot (1 + \frac{1}{4} \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \dots)$

## 11.2. Mechanik des starren Körpers

25 Stunden

### 11.2.1. Statik des starren Körpers

(5 Stunden)

Drehmoment  $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$

Gleichgewichtsbedingungen für den starren Körper:  $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{0}$   
und  $\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = \vec{0}$

Stabiles, labiles und indifferentes Gleichgewicht; Charakterisierung des Gleichgewichts durch den lokalen Extremwert der potentiellen Energie

Ortsvektor des Schwerpunktes  $\vec{r}_s = \frac{1}{m} \int_0^r \vec{r} \, dm$ , Berechnung der Schwerpunkte symmetrischer Körper (Kugel, Halbkugel, Kegel, Zylinder)

Schülerexperiment:

.....  
Untersuchen des Gleichgewichts beim starren Körper  
(z. B. Momentenscheibe) (x)

Demonstrationsexperiment:

.....  
Vektorielles Charakter des Drehmoments

### 11.2.2. Rotation eines starren Körpers um eine feste Achse

(15 Stunden)

Winkelgeschwindigkeit als axialer Vektor  $\vec{\omega} = \dot{\varphi} \cdot \vec{e}$  ( $\vec{e}$  als Einheitsvektor in Richtung der Drehachse, Rechtsschraubensinn)

Winkelbeschleunigung  $\vec{\alpha} = \ddot{\varphi} \cdot \vec{e}$

Bahngeschwindigkeit  $\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$  eines Massepunktes mit dem Radiusvektor  $\vec{r}$

Berechnung von  $\omega(t)$  und  $\varphi(t)$  durch Integration von  $\alpha(t)$

Rotationsenergie  $E_{\text{rot}} = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \Delta m_i \cdot v_i^2,$

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \omega^2 \cdot \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n r_i^2 \cdot \Delta m_i$$

Trägheitsmoment  $J = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n r_i^2 \cdot \Delta m_i, \quad J = \int_0^m r^2 \, dm$

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2} \omega^2 \cdot J$$

Herleitung und experimentelle Bestätigung der Gleichung

$$M = J \cdot \ddot{\phi}$$

Hinweis auf Trägheitsmoment bei freien Achsen

Integration der Gleichung  $M = J \cdot \ddot{\phi}$  für die Fälle  $\ddot{\phi} = 0,$   
 $\ddot{\phi} = \text{konstant} (\neq 0), \ddot{\phi} \sim t;$  Schwingungsdauer eines Drehpendels

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{K}}$$

Berechnung von Trägheitsmomenten einfacher rotationssymmetrischer starrer Körper (Stab, Kugel, Zylinder, Hohlzylinder)

Satz von Steiner

Drehimpuls  $\vec{L} = J \cdot \vec{\omega},$  Gesetz von der Erhaltung des Drehimpulses

Zweites Keplersches Gesetz als Spezialfall des Drehimpulserhaltungssatzes, Anwendung des Drehimpulserhaltungssatzes beim unelastischen Drehstoß

Schülerexperimente:

.....

Untersuchen des Zusammenhanges von Drehmoment, Trägheitsmoment und Winkelbeschleunigung

Bestimmen der Schwingungsdauer eines Drehpendels

Demonstrationsexperimente:

.....

Bestätigung der Winkel-Zeit-Beziehung am Reifenapparat

Überprüfung berechneter Trägheitsmomente

Ermitteln von Trägheitsmomenten mit dem Drehpendel

Veränderung des Trägheitsmomentes bei Verlagerung der Drehachse

Erhaltung des Drehimpulses

### 11.2.3. Übung und Anwendung

(6 Stunden)

Berechnungen zum Gleichgewicht am starren Körper

Vergleich zwischen Rollbewegungen von Kugel, Zylinder, Hohlzylinder und translatorischen Bewegungen an der geneigten Ebene

Berechnen von  $\varphi(t)$  und  $\omega(t)$  bei verzögerten und beschleunigten Rotationsbewegungen

Bestimmen von Trägheitsmomenten und der Rotationsenergie

Anwenden des Drehimpulserhaltungssatzes

### Leistungskontrolle

3 Stunden

## 12. Elektrodynamik

48 Stunden

=====

=====

In diesem Stoffgebiet wird das Wissen der Schüler über die Elektrizitätslehre aus Klasse 9 wiederholt und verallgemeinert. Im Mittelpunkt steht die vertiefte Anwendung grundlegender Begriffe und Gesetze bei der Lösung theoretischer und experimenteller Aufgaben. Die Übungen und Anwendungen sind wie im Stoffgebiet "Mechanik" intensiv für die Vorbereitung der Schüler auf die Reifeprüfung zu nutzen.

Die den Schülern bekannten Methoden der Differential-, Integral- und Vektorrechnung werden angewendet, um physikalische Größen zu definieren sowie vielfältige Erscheinungen in elektrischen und magnetischen Feldern zu beschreiben.

Die Kenntnisse der Schüler über die Bedeutung von Modellen bei der Erkenntnisfindung werden vertieft und gefestigt, die Grenzen der Anwendbarkeit bestimmter Modelle und die Beziehungen zwischen Realität und Modell werden deutlich herausgearbeitet.

Sowohl für das elektrische als auch für das magnetische Feld werden je zwei Feldgrößen definiert: Elektrische Feldstärke  $E$  und Magnetflußdichte  $B$  beschreiben die Kraftwirkung des Feldes auf einen Probekörper, die elektrische Verschiebung  $D$  und die

magnetische Feldstärke  $H$  die felderzeugenden Ursachen. Auf die Analogie der Größen elektrische Feldstärke  $E$  und Magnetflußdichte  $B$  sowie elektrische Verschiebung  $D$  und magnetische Feldstärke  $H$  sind die Schüler aufmerksam zu machen.

Bei der Behandlung der Felder werden die Begriffe Quellenfeld und Wirbelfeld benutzt, ohne jedoch die tiefergehenden mathematischen Konsequenzen den Schülern bewußt zu machen.

12.1. Das statische elektrische Feld 19 Stunden

12.1.1. Elektrische Ladungen (2 Stunden)

Wiederholung und Vertiefung: Existenz positiver und negativer Ladungen

Ladung als additive skalare Größe, Erhaltung der Ladung für abgeschlossene Systeme

Elektrische Ladung eines Körpers als ganzzahliges Vielfaches der Elementarladung  $Q = ne$  ( $n \in \mathbb{Z}$ ), Hinweis auf Quarks mit  $n = \left\{ \pm 1/3, \pm 2/3 \right\}$

Kräfte zwischen geladenen Körpern, Coulombsches Gesetz für Kräfte zwischen zwei Punktladungen

Demonstrationsexperimente:

Messung der Kräfte zwischen geladenen kugelsymmetrischen Körpern und Berechnung der Ladungen

Erzeugung von Influenz und Polarisation

12.1.2. Elektrische Feldstärke und elektrische Verschiebung (2 Stunden)

Statisches elektrisches Feld als Quellenfeld, Ladungen als Quellen und Senken des elektrischen Feldes

Definition der elektrischen Feldstärke  $\vec{E}$  durch die Kraft  $\vec{F}$  auf die Probeladung  $q$ :  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$

Definition der elektrischen Verschiebung  $D$   
 $D = \frac{Q}{A}$ ; Hinweis auf den vektoriellen Charakter von  $D$

Herleitung von  $D = \epsilon \cdot E$  (aus dem Coulombschen Gesetz)

## Demonstrationsexperiment:

Elektrische Felder in der Umgebung verschieden geformter Körper

### 12.1.3. Arbeit, Potential und Spannung

(3 Stunden)

Verschiebungsarbeit  $W = \int_{P_1}^{P_2} \vec{F} \cdot d\vec{r}$ ,  $W = q \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{r}$

Potential  $\varphi$  als Stammfunktion der elektrischen Feldstärke  $E$ :

$$E = q \cdot \left[ -\varphi \right]_{P_1}^{P_2}$$

Spannung als Potentialdifferenz:  $U_{12} = \varphi(P_1) - \varphi(P_2)$ ;

Herleitung von  $U_{12} = \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{r}$ ; Spannung  $U = E \cdot d$  für den Plattenkondensator

Spannung  $U = \frac{Q}{4\pi \cdot \epsilon_0} \cdot \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$  zwischen 2 Punkten in der Umgebung einer geladenen Kugel

### 12.1.4. Kapazität und elektrische Feldenergie

(3 Stunden)

Wiederholung: Kapazität  $C = \frac{Q}{U}$

Herleitung der Gleichungen zur Berechnung der Kapazitäten von Platten-, Kugel- und Zylinder-Kondensator

Berechnung der Kapazität verschiedener Kondensatoren (z. B. Kugel des Bandgenerators, Zylinderkondensatoren der Influenzmaschine)

Zusammenhang zwischen Änderung der Feldenergie  $\Delta E_{el}$  und Verschiebungsarbeit  $W = q \int_{P_1}^{P_2} \vec{E} \cdot d\vec{r}$  bei Ladungstrennung;

Herleitung von  $E_{el} = \frac{1}{2} C \cdot U^2$  und  $E_{el} = \frac{1}{2} Q \cdot U$ ; Berechnung der Energie geladener Kondensatoren

### 12.1.5. Übung und Anwendung

(9 Stunden)

Berechnung von Kräften bei verschiedenen Ladungsanordnungen

Bewegung von Ladungsträgern im elektrischen Feld, Herleitung der Bahngleichungen



Herleitung der Proportionalität zwischen Auslenkung des Elektronenstrahles und angelegter Spannung am Oszillografen  
 Berechnung von Energie, Geschwindigkeit, Zeit für bewegte Teilchen im Linearbeschleuniger (relativistisch und in klassischer Näherung)

Wasserstoffatom im Bohrschen Atommodell, Herleitung von

$$r = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \cdot \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

Entladevorgänge an Kondensatoren, Herleitung von

$$i(t) = \frac{U}{R} \cdot e^{-\frac{1}{RC} t}$$

Bestimmung der Elementarladung nach Millikan

Schülerexperimente:

Bestimmen der Zeitkonstante  $\tau = R \cdot C$  bei Entladevorgängen an Kondensatoren

## 12.2. Das statische magnetische Feld 14 Stunden

### 12.2.1. Magnetische Flußdichte und magnetische Feldstärke (4 Stunden)

Bewegte Ladungsträger (Ströme) als Ursache statischer magnetischer Felder

Magnetfeld als Wirbelfeld

Kräfte zwischen stromführenden Leitern

Definition der Einheit der Stromstärke

Wiederholung: Flußdichte B als Kraftwirkung auf einen "Probestrom"  $B = \frac{F}{I \cdot l}$

$$B = \frac{F}{I \cdot l}$$

Hinweis auf den vektoriellen Charakter von B

Definition der Feldstärke H durch den felderzeugenden Strom I (für den Spezialfall des Inneren einer langen Spule)  $H = \frac{N}{l} \cdot I$

Wiederholung: Zusammenhang zwischen B und H;  $B = \mu H$  mit

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

$\mu_r = f(H)$ ; Erscheinung der Hysterese

**Schülerexperiment:**  
.....

Darstellen der Hysteresekurve mit Oszillografen

**Demonstrationsexperimente:**  
.....

Magnetische Wirbel in der Umgebung stromführender Leiter

Kräfte auf stromführende Leiter im Magnetfeld

**12.2.2. Lorentzkraft**

**(3 Stunden)**

Herleitung von  $\vec{F}_L = q \cdot \vec{v} \times \vec{B}$

Theoretische Begründung, daß die Lorentzkraft an einer Ladung keine Arbeit verrichtet; Konstanz der kinetischen Energie der Ladungsträger in homogenen Magnetfeldern

Nachweis, daß sich eine elektrische Ladung bei  $\vec{v} \perp \vec{B}$  im Magnetfeld auf einer Kreisbahn mit  $r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$  und  $\omega = \frac{q \cdot B}{m}$  bewegt (Anwenden von  $m = m_0 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ )

**12.2.3. Übung und Anwendung**

**(7 Stunden)**

Bewegung von Ladungsträgern bei gleichzeitiger Einwirkung von elektrischen und magnetischen Feldern

Berechnung von Drehmomenten an Elektromotoren

Aufbau und Arbeitsweise von Zirkularbeschleunigern, Hinweis auf Ringspeicher

Fallunterscheidung bei der Interpretation der Gleichung

$\frac{m \cdot v^2}{r} = e \cdot v \cdot B$  - Zyklotron ( $B = \text{konstant}$ ,  $r = f(v)$ ), Synchrotron ( $r = \text{konstant}$ ,  $B = f(v)$ )

$\frac{q}{m}$  - Bestimmung nach Schuster mit dem Fadenstrahlrohr  
Experimentelle Untersuchungen zum Hall-Effekt

**Leistungskontrolle**

**3 Stunden**

**12.3. Elektromagnetische Induktion**

**12 Stunden**

**12.3.1. Verallgemeinerung zum Induktionsgesetz**

**(3 Stunden)**

Spannung  $U_1 = - (B \cdot \frac{dA}{dt} + A \cdot \frac{dB}{dt})$ , die in einer Leiterschleife induziert wird; Magnetischer Fluß  $\Phi = B \cdot A$ ; Induktionsspannung  $U_1 = - \frac{d\Phi}{dt}$

Induzierte Spannung in einer Spule mit N Windungen:

$$U_1(N) = - N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

Herleitung von  $U_1 = - B \cdot \frac{dA}{dt}$  für  $B = \text{konst.}$

Lenzsches Gesetz

Demonstrationsexperimente:

Abhängigkeit der Induktionsspannung  $U_1$  von  $N$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $\frac{dA}{dt}$  und  $\frac{dB}{dt}$

### 12.3.2. Selbstinduktion

(3 Stunden)

Herleitung von  $U_1 = - L \cdot \frac{dI}{dt}$  mit  $L = N^2 \cdot \mu_0 \mu_r \cdot \frac{A}{l}$

Herleitung der Gleichung für den induktiven Widerstand  $X_L = \omega \cdot L$  im harmonischen Wechselstromkreis

Ein- und Ausschaltvorgänge; Herleitung von  $i(t) = I_0 \cdot (1 - e^{-\frac{Rt}{L}})$  für den Einschaltvorgang

Schülerexperimente:

Oszillografisches Darstellen des Ein- und Ausschaltvorganges durch Anlegen einer Rechteckspannung an eine Spule

Bestimmen von  $\mu_r$  aus  $X_L = \omega \cdot L$  für verschiedene Feldstärken  $H = f(I)$  (x)

Demonstrationsexperiment:

Wirkung der Selbstinduktionsspannung bei Ein- und Ausschaltvorgängen

### 12.3.3. Übung und Anwendung

(6 Stunden)

Idealer Transformator, Herleiten des Leerlaufspannungsverhältnisses  $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$  und des Kurzschlußstromverhältnisses

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}, \text{ Anwendung von Transformatoren in der Praxis}$$

Strom- und Spannungsmessungen an realen Transformatoren bei unterschiedlichen Übersetzungsverhältnissen (im Leerlaufbetrieb und im Kurzschlußbetrieb)

Strom- und Spannungsmessungen an realen Transformatoren bei Veränderung des Lastwiderstandes, Vergleich der Ergebnisse mit Aussagen der Zweipoltheorie

Wechselspannungsgenerator, Herleiten von  $u(t) = N \cdot A \cdot B \cdot \omega \cdot \sin \omega \cdot t$  für die Induktionsspannung beim Drehen einer Leiterschleife mit konstanter Winkelgeschwindigkeit im homogenen Magnetfeld

Motor und Generator bei unterschiedlicher Belastung

Entstehung und Wirkung von Wirbelströmen

Zeitlich veränderliche Magnetfelder als Ursache von elektrischen Wirbelfeldern, Ausbreitung Hertzscher Wellen mit

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

Würdigung der Arbeiten von Faraday, Maxwell und Hertz.