



Lehrplan

# Physik

Gymnasium

Klassenstufe 9

Naturwissenschaftlicher Zweig

– Erprobungsphase –

2014

## Themenfelder Klassenstufe 9

<b>Themenfelder Klassenstufe 9 (Naturwissenschaftlicher Zweig)</b>	<b>Physik</b>
<b>Optische Abbildungen und Farben</b>	<b>20 %</b>
Brechung und Totalreflexion	
Abbildungen durch Linsen	
Optische Geräte zur Vergrößerung des Seh winkels	
Spektralfarben	
<b>Gesetze des elektrischen Stromkreises</b>	<b>35–45 %</b>
Elektrische Ladung und elektrisches Feld	
Elektrischer Strom und elektrische Spannung	
Elektrische Arbeit und elektrische Leistung	
Serien- und Parallelschaltung von Widerständen	
<i>Wahlthema – Vorschlag 1: Innenwiderstand einer Elektrizitätsquelle*</i>	
<i>Wahlthema – Vorschlag 2: Spezifischer Widerstand*</i>	
<i>Wahlthema – Vorschlag 3: Leitungsvorgänge in Halbleitern und Dioden*</i>	
<b>Elektromagnetische Wechselwirkung</b>	<b>20 %</b>
Stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld	
Elektromagnetische Induktion	
Transformator	
<b>Energieströme</b>	<b>15 %</b>
Energiewandler und Energieerhaltung	
Kraftwerke	
Energiehaushalt und Energieentwertung	
<b>Freies Wahlthema*</b>	<b>10 %</b>

\* Wird ein freies Wahlthema realisiert, so können 1 bis maximal 2 der Wahlthemen – Vorschläge entfallen

Die Grundlagen der Optik aus Klassenstufe 7 werden an dieser Stelle durch die Phänomene der Brechung, Totalreflexion und Spektralzerlegung ergänzt.

Das bereits bekannte Modell der strahlenförmigen Ausbreitung des Lichts zeigt in diesen neuen Zusammenhängen seine volle Leistungsfähigkeit. Es erlaubt auf einfache Weise komplizierte Abbildungssituationen und anspruchsvolle Anwendungen zu beschreiben. Durch die altersgemäße Erweiterung des Strahlenmodells um quantitativ beschreibende Größen wie die Brennweite können nun konstruktive und rechnerische Vorhersagen getroffen werden.

Das Strahlenmodell liefert allerdings keine Begründung für das Verhalten des Lichts. Der Unterschied zwischen einem (beschreibenden) Modell und einer (erklärenden) Theorie kann hier exemplarisch aufgezeigt werden. Gleichwohl sind die beiden konkurrierenden Lichttheorien von Newton (Teilchen) und Huygens (Welle) nicht Gegenstand dieses Lehrplans. Erst in den Klassenstufen 11 und 12 nehmen die historischen und modernen Theorien zur Natur des Lichts den ihnen gebührenden Raum ein. Ohne Theorie muss zumindest exemplarisch das konkrete Experiment den Berechnungen und Konstruktionen gegenübergestellt werden, um das Modell zu validieren.

Die Konstruktionen sollten zunächst mit „Papier und Bleistift“ erfolgen, gerade weil der Aufwand an Zeit und Sorgfalt die Qualität der Ergebnisse bestimmt. Im weiteren Verlauf wird die Verwendung von dynamischer Geometrie-Software dringend empfohlen. Es bietet sich die Gelegenheit den Computer in seiner wichtigen physikalischen Rolle als Simulationswerkzeug kennenzulernen. Die Schülerinnen und Schülern können beispielsweise die Bedingungen für den Übergang von vergrößernden zu verkleinernden Abbildungen oder von reellen zu virtuellen Bildern selbst entdecken. Das „Auffinden“ der Abbildungsgesetze in der Simulation kann die mathematisch-geometrische Herleitung, ganz oder teilweise, ersetzen.

Die explizit aufgeführten (technischen) Anwendungen sollten im engen Rahmen des jeweiligen Phänomens diskutiert werden. Lediglich beim Fernrohr bzw. Mikroskop muss deren historische Entwicklung und Bedeutung zumindest im Ansatz gewürdigt werden.

Das menschliche Auge erfährt eine umfassendere Betrachtung als Sinnesorgan im Fach Biologie. Die Kenntnis der Abbildung durch Linsen wird dort vorausgesetzt. Eine Vertauschung der Reihenfolge der Themenfelder sollte deshalb nur in Absprache mit den Kolleginnen oder Kollegen des Fachbereiches Biologie erfolgen.

<b>Kompetenzerwartungen</b>	
<b>Fachwissen</b>	<b>Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung</b>
<p><b>Brechung und Totalreflexion</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bezeichnen die Richtungsänderung eines Lichtstrahls an der Grenzfläche beim Übergang in ein anderes Material als Brechung,</li> <li>• erläutern die wesentlichen Bestandteile des geometrischen Modells der Lichtbrechung mit einfallendem Lichtstrahl, Einfallslot, Einfallswinkel <math>\alpha</math>, gebrochenem Lichtstrahl und Brechungswinkel <math>\beta</math>,</li> <li>• erklären einfache Alltagsphänomene mit Hilfe des Modells der Lichtbrechung,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• führen ein einfaches Experiment zur Lichtbrechung durch,</li> <li>• planen ein Experiment zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Einfallswinkel und Brechungswinkel, beteiligen sich aktiv an der Durchführung und dokumentieren das Ergebnis in Form eines <math>\beta(\alpha)</math>-Diagramms („Brechungsdiagramm“),</li> <li>• ordnen mit Hilfe eines vorgegebenen Brechungsdiagramms Einfallswinkel und Brechungswinkel einander zu,</li> </ul>

Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• geben die Bedingungen für die Totalreflexion an,</li> <li>• beschreiben den Aufbau eines Lichtleiters und erklären seine Funktionsweise.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• konstruieren den Strahlengang durch ein Prisma oder eine planparallele Platte,</li> <li>• entscheiden mit Hilfe eines Brechungsdiagramms ob beim Übergang des Lichts an der Grenzfläche zweier Medien Totalreflexion auftritt und bestimmen gegebenenfalls den Grenzwinkel,</li> <li>• recherchieren Anwendungen von Lichtleitern.</li> </ul>
<p><b>Abbildungen durch Linsen</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• unterscheiden Sammell- und Zerstreuungslinsen hinsichtlich ihrer Bauform,</li> <li>• erklären den Strahlengang an Linsen mit Hilfe der Brechung,</li> <li>• erläutern die wesentlichen Bestandteile des geometrischen Modells einer konkreten Abbildungssituation mit optischer Achse, Linsenebene, Brennpunkt, Brennweite f, Gegenstandsweite g, Gegenstandsgröße G, Bildweite b und Bildgröße B,</li> <li>• nennen Parallelstrahl, Mittelpunktstrahl und Brennstrahl als ausgezeichnete Strahlen und erläutern ihren Verlauf beim Durchgang durch eine Linse,</li> <li>• unterscheiden reelle und virtuelle Bilder bei Linsen,</li> <li>• geben die Abbildungsgleichung an:  <math display="block">\frac{b}{g} = \frac{B}{G}</math> </li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beobachten die unterschiedliche Wirkung verschiedener Linsen auf parallel einfallende Lichtstrahlen,</li> <li>• zeichnen den Strahlengang an Sammell- und Zerstreuungslinsen für parallel einfallende Lichtstrahlen,</li> <li>• führen ein einfaches Experiment zur Bestimmung der Brennweite einer Sammellinse durch,</li> <li>• führen ein Experiment durch, bei dem eine Sammellinse einen leuchtenden Gegenstand scharf auf einem Schirm abbildet,</li> <li>• stellen eine konkrete Abbildungssituation mit Hilfe des geometrischen Modells dar,</li> <li>• konstruieren mit Hilfe ausgezeichneter Strahlen reelle und virtuelle Bilder an Sammellinsen,</li> <li>• erklären mit Hilfe des geometrischen Modells, unter welchen Bedingungen eine Sammellinse von einem Gegenstand ein reelles Bild, kein Bild oder ein virtuelles Bild erzeugt,</li> <li>• erklären mit Hilfe des geometrischen Modells, unter welchen Bedingungen eine Sammellinse von einem Gegenstand ein vergrößertes Bild, ein Bild in Originalgröße oder ein verkleinertes Bild erzeugt,</li> <li>• leiten die Abbildungsgleichung mit Hilfe des geometrischen Modells her,</li> </ul>

Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• geben die Linsengleichung an:  <math display="block">\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}</math> </li> <li>• lösen Aufgaben unter Verwendung der Abbildungs- und der Linsengleichung,</li> <li>• beschreiben den optischen Aufbau des menschlichen Auges und erklären seine grundlegende Funktionsweise mit der Abbildung durch Linsen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• leiten die Linsengleichung mit Hilfe des geometrischen Modells her,</li> <li>• überprüfen die Linsengleichung in der Konstruktion reeller und virtueller Bilder an Sammellinsen.</li> </ul>
<p><b>Optische Geräte zur Vergrößerung des Seh winkels</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• definieren den Sehwinkel <math>\alpha</math> als Winkel zwischen den Randstrahlen, die von einem Objekt zu einem Beobachtungspunkt verlaufen,</li> <li>• erläutern die Rolle, die der Sehwinkel für den Größeneindruck hat, den ein Objekt im menschlichen Auge hinterlässt,</li> <li>• erläutern die Grenzen der Vergrößerung durch Annäherung an ein Objekt,</li> <li>• nennen Lupe, Fernrohr und Mikroskop als Vergrößerungsgeräte,</li> <li>• definieren die Vergrößerung <math>V</math> eines optischen Geräts als Quotienten der Sehwinkel mit und ohne das Gerät:  <math display="block">V = \frac{\alpha_{\text{mit}}}{\alpha_{\text{ohne}}}</math> </li> <li>• geben die erreichbaren Vergrößerungen mit Lupe, Mikroskop und Fernrohr an,</li> <li>• beschreiben den Aufbau und erklären die Funktionsweise des Kepler-Fernrohrs oder des Mikroskops als Gerät zur Vergrößerung des Seh winkels.</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beobachten die Vergrößerung eines Objektes durch Annäherung an das Auge,</li> <li>• beobachten die vergrößernde Wirkung einer Lupe in Abhängigkeit von der Gegenstandsweite und vom eigenen Standpunkt und schätzen die Vergrößerung,</li> <li>• messen in der Konstruktion des virtuellen Bildes einer Lupe den Sehwinkel mit Lupe <math>\alpha_{\text{mit}}</math> und den Sehwinkel ohne Lupe <math>\alpha_{\text{ohne}}</math> von einem festgelegten Beobachtungspunkt aus und berechnen daraus die Vergrößerung,</li> <li>• bewerten den Einfluss der Vergrößerungsgeräte auf die Entwicklung der modernen Welt.</li> </ul>
<p><b>Spektralfarben</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bezeichnen die bei der Zerlegung von Licht auftretenden Farben als Spektralfarben und ihre Gesamtheit als Spektrum,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beobachten die Zerlegung des weißen Lichts am Prisma,</li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

## Fachwissen

Erkenntnisgewinnung,  
Kommunikation, Bewertung

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Entstehung des Regenbogens mit Hilfe der Totalreflexion und der Spektralzerlegung bei der Brechung,</li> <li>• bezeichnen die unsichtbare Strahlung, die sich im Spektrum an das rote bzw. violette Licht anschließt als Infrarot-Strahlung (IR-Strahlung) bzw. ultraviolette Strahlung (UV-Strahlung),</li> <li>• geben Wirkungen von IR-Strahlung und UV-Strahlung an.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• beobachten den Nachweis der IR- und der UV-Strahlung,</li> <li>• recherchieren Anwendungen oder Phänomene im Zusammenhang mit IR- oder UV-Strahlung.</li> </ul> |
|--|--|

## Hinweise

**Allgemeine Hinweise:**

- Einfache Brechungsexperimente: Gegenstände in Bechergläsern oder Tassen
- Bestimmung von Brechungswinkeln nur über Brechungsdiagramme, kein snelliussches Brechungsgesetz
- Optischer Aufbau Lichtleiter: Kernglas, Mantelglas
- Linsen, für die das geometrische Modell gültig ist, sind „dünne“ Linsen
- Betrachtung von „dicken“ Linsen und Linsenfehlern nur fakultativ
- Beschreibung des Fotoapparats nur fakultativ
- Augenlinse mit variabler Brennweite
- Brechende Wirkung der Hornhaut größer als die der Augenlinse
- Grenzen der Annäherung:
  - Nahgrenze des Auges (→ Mikroskop)
  - unerreichbare Objekte (→ Teleskop)
- Sehwinkel an der Lupe aus 25 cm Entfernung („deutliche Sehweite“)
- Erreichbare Vergrößerungen
  - Lupe: ca. 10fach
  - Lichtmikroskop: ca. 1000fach
  - Amateur-Teleskop: ca. 1000fach
  - Groß-Teleskope: wird nicht angegeben, Auflösung ist entscheidend
- Wirkungen von UV-Strahlung auch unter Gesundheitsaspekt:
  - Negativ: Hautkrebsrisiko, Sonnenbrand
  - Positiv: Vitamin D Produktion

**Zusätzliche geeignete (Schüler-)Experimente**

- Objektbetrachtung mit planparallelen Platten
- Durchsichtige Wasserflaschen oder Wassertropfen als Linse
- Bestimmung der Nahgrenze des Auges
- Fernrohr oder Mikroskop aus zwei in den Händen gehaltenen Linsen

**Hinweise****Projekte**

- Klassisches Fotografieren
- Himmelsbeobachtungen mit und ohne optische Geräte

**Außerschulische Lernorte**

- Sternwarte am Peterberg
- Planetarien
- Edelsteinschleiferei
- Weinlese

**Fachübergreifende und fächerverbindende Bezüge**

- Mathematik: Konstruktionen mit und ohne dynamische Geometrie-Software, Ähnlichkeit
- Erdkunde: Scheinbare Abplattung der tiefstehenden Sonne, Bewegung der Fixsterne und Planeten am Himmel
- Biologie: Auge als Sinnesorgan, Lupe und Mikroskop als Arbeitsmittel
- Chemie: Herstellung von Glas, Konzentrationsbestimmung mit Refraktometern

**Geeignete Kontexte:**

- Vom Edelstein zum Brillanten
- Zuckergehalt im Traubenmost: Oechsle und deren Bestimmung
- Glasfaserkabel in der Datenübertragung
- Optische Täuschungen (z. B. Fata Morgana)
- Regensensor im Auto
- Abblendspiegel im Auto
- Overheadprojektoren

Elektrische Ladung ist die grundlegende Eigenschaft jedes Körpers, der an der elektromagnetischen Wechselwirkung teilhat. Sie bildet deshalb den Einstieg in das Kapitel und wird als physikalische Größe noch vor der Stromstärke eingeführt. Die Einheit der Ladung 1C als Vielfaches der Elementarladung kann als vorläufig angesehen werden, die Anbindung an die SI-Basiseinheit 1A wird zweckmäßig erst bei deren Einführung diskutiert. Obwohl der Lehrplan dies nicht vorschreibt, ist hier ein Exkurs über das SI-Einheitensystem und die vielfältigen Definitionsänderungen in der Geschichte der Einheiten möglich und sinnvoll.

Ein Schwerpunkt des Kapitels ist die Ausbildung eines tragfähigen Atommodells, das zusammen mit der Coulomb-Kraft die Erklärung vieler physikalischer Sachverhalte ermöglicht. Das Umschalten zwischen der makroskopischen Ebene der Phänomene (wie der Influenz) und der atomistischen Deutung stellt hohe Anforderungen an die Schülerinnen und Schüler, ist aber eine der unverzichtbaren Methoden der Erkenntnisgewinnung.

Das elektrische Feld tritt, wie das Magnetfeld in Klassenstufe 7, nur als Hilfskonstruktion auf, das einen Überblick über die Wirkung felderzeugender Ladungen in einem Raumbereich verschafft. Die Erkenntnis, dass Felder unabhängig von ihrer Erzeugung eine eigenständige physikalische Realität besitzen und Träger von Energie sind, bleibt der Klassenstufe 11 vorbehalten.

Die elektrische Energie wird konsistent zu den mechanischen Energieformen der Klassenstufe 8 als Speicherform der elektrischen Arbeit eingeführt. Dass Elektrizitätsquellen im Regelfall keine Energiespeicher darstellen, deren elektrische Energie „aufgebraucht“ wird, führt auf die Notwendigkeit reflektierte Sprachregelungen zu finden, die ohne „Energieverbrauch“ auskommen und eine Brücke schlagen zwischen der korrekten Fachsprache und den im Alltag sowie in Aufgabenstellungen üblichen Formulierungen.

In Fortführung der in den Klassenstufen 7 und 8 begonnenen  $\Delta$ -Schreibweise werden die Formeln für die Stromstärke, die Spannung und die elektrische Arbeit konsistent angegeben. Dies erleichtert die in späteren Klassenstufen anstehende Mathematisierung in Form differenzieller und integraler Schreibweisen.

Die Erarbeitung der Gesetzmäßigkeiten in Netzwerken von Widerständen stellt eine Gelegenheit dar, die deduktive Methode der Erkenntnisgewinnung mit den Schülerinnen und Schülern einzuüben. Besonders wichtig ist dabei die exemplarische Überprüfung der hergeleiteten Formeln für Ersatzwiderstände, Teilströme und Teilspannungen im Experiment.

Die Themen Spezifischer Widerstand und Innenwiderstand einer Elektrizitätsquelle können genutzt werden, um den Schülerinnen und Schülern das Auffinden der Gesetzmäßigkeiten im selbst durchgeführten Experiment zu ermöglichen (induktive Methode der Erkenntnisgewinnung).

Das Thema Halbleiter und Dioden trägt deren Bedeutung in der Technik Rechnung. Als technische Anwendung ist die Gleichrichterschaltung mit Dioden vorgesehen. Das grundlegende Verständnis und die Modellierung im atomaren Maßstab hat Vorrang vor den technischen Einzelheiten.

### Kompetenzerwartungen

#### Fachwissen

#### Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung

#### Elektrische Ladung und elektrisches Feld

Die Schülerinnen und Schüler

Die Schülerinnen und Schüler

- führen einfache Versuche zur Berührungselektrizität durch, bei denen anziehende und abstoßende Kräfte zwischen elektrisch geladenen Körpern auftreten,



## Kompetenzerwartungen

## Fachwissen

Erkenntnisgewinnung,  
Kommunikation, Bewertung

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• bezeichnen die in der Natur vorkommenden Ladungen mit elektrisch positiv und elektrisch negativ,</li> <li>• bezeichnen die zwischen ruhenden elektrischen Ladungen auftretende Kraft als Coulomb-Kraft <math>F_C</math>,</li> <li>• erläutern die wesentlichen Bestandteile eines Atommodells mit positivem Atomkern und einer Atomhülle aus negativen Elektronen mit Bindung an den Kern,</li> <li>• bezeichnen die elektrische Ladung eines Elektrons als Elementarladung <math>e</math>,</li> <li>• formulieren das Gesetz der Ladungserhaltung:<br/>Bei allen physikalischen Vorgängen ist die Summe der beteiligten Ladungen konstant,</li> <li>• definieren die physikalische Größe Ladung <math>Q</math> als Vielfaches der Elementarladung und geben ihre Einheit an:<br/><math>[Q] = 1C (= 6,24 \cdot 10^{18}e)</math>,</li> <li>• unterscheiden Isolatoren und elektrische Leiter hinsichtlich der Bindung ihrer Elektronen an den Kern,</li> <li>• nennen das Elektroskop als Nachweisgerät für Ladungen und beschreiben seinen Aufbau,</li> <li>• bezeichnen die Ladungstrennung auf einem neutralen, leitenden Körper als Influenz,</li> <li>• definieren einen Raum, in dem auf einen ruhenden, elektrisch geladenen Körper aufgrund seiner Ladung eine Kraft ausgeübt wird, als elektrisches Feld,</li> <li>• erläutern das Modell der elektrischen Feldlinien, deren Richtung in jedem Raumpunkt mit der Richtung der Coulomb-Kraft auf eine positive Probeladung an dieser Stelle übereinstimmt,</li> <li>• beschreiben ein Experiment zur Veranschaulichung elektrischer Feldlinien,</li> <li>• nennen die wesentlichen Eigenschaften elektrischer Feldlinien,</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• schließen vom Vorhandensein anziehender und abstoßender Kräfte zwischen elektrischen Ladungen auf die Existenz zweier unterschiedlicher Ladungsarten,</li> <li>• erklären die Vorgänge bei der Berührungselektrizität mit Hilfe des Atommodells,</li> <li>• erklären die Leitfähigkeit von Metallen mit Hilfe der Beweglichkeit einzelner Elektronen,</li> <li>• erklären die Funktionsweise des Elektroskops mit Hilfe des Atommodells und der Coulomb-Kraft,</li> <li>• erklären Influenzerscheinungen mit Hilfe des Atommodells und der Coulomb-Kraft,</li> <li>• zeichnen Feldlinienbilder besonderer Ladungsverteilungen.</li> </ul> |
|--|--|

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>bezeichnen einen Raumbereich, in dem ein Feld überall gleich stark und gleich gerichtet ist, als homogenes Feld.</li> </ul>	
<p><b>Elektrischer Strom und elektrische Spannung</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>erläutern ein Modell des elektrischen Stromes mit Ladungsträgern, deren gerichtete Bewegung vom Ladungsunterschied zwischen zwei Orten (Polen) angetrieben wird,</li> <li>unterscheiden zwischen technischer Stromrichtung und Bewegungsrichtung der Elektronen,</li> <li>bezeichnen den Austritt von Elektronen aus stark erhitzten Metallen als glüh-elektrischen Effekt,</li> <li>definieren die physikalische Größe Stromstärke als Quotient aus der transportierten Ladung <math>\Delta Q</math> und dem zum Transport benötigten Zeitintervall <math>\Delta t</math> und geben ihre Einheit an:  <math display="block">I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}, [I] = 1 \frac{C}{s} = 1 A,</math> </li> <li>nennen die Stromstärke als Basisgröße im SI – Einheitensystem,</li> <li>rechnen gebräuchliche Ladungseinheiten ineinander um,</li> <li>definieren die physikalische Größe Spannung als Quotient aus der zur Ladungstrennung benötigten elektrischen Arbeit <math>W_{el}</math> und der getrennten Ladung <math>\Delta Q</math>:  <math display="block">U = \frac{W_{el}}{\Delta Q}, [U] = 1 \frac{J}{C} = 1 V.</math> </li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>beobachten ein Experiment zum Nachweis des Elektronenstroms in einer Vakuumdiode,</li> <li>messen die Stromstärke in einem einfachen Stromkreis für verschiedene Elektrizitätsquellen und verschiedene „Verbraucher“ mit einem Multimeter,</li> <li>begründen, dass zur Trennung von elektrischen Ladungen Arbeit verrichtet werden muss,</li> <li>messen die Spannung an den Polen verschiedener Elektrizitätsquellen mit einem Multimeter.</li> </ul>
<p><b>Elektrische Arbeit und Leistung</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>formulieren die Gesetzmäßigkeit für die elektrische Arbeit:  <math display="block">W_{el} = U \cdot I \cdot \Delta t, [W_{el}] = 1 VAs = 1 J,</math> </li> <li>bezeichnen die in der Trennung von Ladungen gespeicherte elektrische Arbeit als elektrische Energie,</li> <li>rechnen gebräuchliche Energieeinheiten ineinander um,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>vergleichen Fachsprache und Alltagssprache hinsichtlich der Begriffe im Wortfeld „elektrische Energie“ und beurteilen deren Gebrauch in verschiedenen Kontexten,</li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>formulieren die Gesetzmäßigkeit für die elektrische Leistung:  <math display="block">P_{el} = \frac{W_{el}}{\Delta t} = U \cdot I, [P_{el}] = 1VA = 1W,</math> </li> <li>lösen Aufgaben zur Stromstärke, Spannung, elektrischen Arbeit und elektrischen Leistung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>recherchieren und vergleichen die elektrischen Leistungen von Haushaltsgeräten, Industrieanlagen, Großstädten.</li> </ul>
<p><b>Serien- und Parallelschaltung von Widerständen</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>definieren die physikalische Größe (elektrischer) Widerstand (eines Bauteils) als Quotient aus anliegender Spannung <math>U</math> und erzielter Stromstärke <math>I</math> und geben ihre Einheit an:  <math display="block">R = \frac{U}{I}, [R] = 1 \frac{V}{A} = 1 \Omega,</math> </li> <li>geben an, dass der Begriff "Widerstand" sowohl für ein Bauteil in einer Schaltung als auch für die physikalische Größe verwendet wird,</li> <li>lösen Aufgaben unter Verwendung der Beziehung <math>U = R \cdot I</math>,</li> <li>unterscheiden Serien- und Parallelschaltung von Widerständen,</li> <li>formulieren die Maschenregel: Die Summe der Spannungen entlang jedes Weges von einem Punkt zu einem anderen Punkt eines Netzwerkes ist gleich groß,</li> <li>geben an, dass in einer Serienschaltung die Stromstärke durch alle Bauteile gleich ist,</li> <li>definieren den Ersatzwiderstand eines Netzwerkes als den Widerstand, der an derselben Spannung denselben Strom bewirken würde,</li> <li>formulieren die Knotenregel: Die Summe der Stromstärken, der in einen Knoten hineinfließenden Ströme ist gleich der Summe der Stromstärken der Ströme, die aus ihm hinausfließen,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>bestimmen den elektrischen Widerstand verschiedener Bauteile gemäß der Definition und durch direkte Messung mit einem Multimeter,</li> <li>planen ein Experiment zur Untersuchung der Abhängigkeit eines Widerstandes von der Temperatur, führen es durch und dokumentieren das Ergebnis in Form eines <math>R(T)</math>-Diagramms,</li> <li>zeichnen das Schaltbild einer Serienschaltung von Widerständen,</li> <li>zeichnen das Schaltbild einer Parallelschaltung von Widerständen,</li> <li>begründen die Maschenregel mit Hilfe des Energieerhaltungssatzes,</li> <li>leiten mit Hilfe der Maschenregel die Formel für den Ersatzwiderstand <math>R_S</math> einer Serienschaltung aus <math>k</math> Einzelwiderständen her:  <math display="block">R_S = R_1 + R_2 + \dots + R_k,</math> </li> <li>planen ein Experiment zur Überprüfung der Formel für den Ersatzwiderstand einer Serienschaltung von Widerständen und führen es durch,</li> <li>begründen die Knotenregel in einem Netzwerk mit Hilfe des Gesetzes der Ladungserhaltung,</li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• geben an, dass in einer Parallelschaltung die an allen Bauteilen anliegende Spannung gleich ist,</li> <li>• berechnen Ersatzwiderstände, Teilspannungen und Teilströme in Netzwerken von Widerständen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• leiten mit Hilfe der Knotenregel die Formel für den Ersatzwiderstand <math>R_P</math> einer Parallelschaltung aus <math>k</math> Einzelwiderständen her:  <math display="block">\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_k},</math> </li> <li>• planen ein Experiment zur Überprüfung der Formel für den Ersatzwiderstand einer Parallelschaltung von Widerständen und führen es durch,</li> <li>• recherchieren Anwendungen der Serien- und Parallelschaltung von Widerständen im Alltag.</li> </ul>
<p><b>Innenwiderstand einer Elektrizitätsquelle</b> Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern das Modell einer realen Elektrizitätsquelle als Serienschaltung einer idealen Elektrizitätsquelle und eines konstanten Widerstands (Innenwiderstand) <math>R_i</math>,</li> <li>• vergleichen den Innenwiderstand verschiedener Akku- und Batterietypen,</li> <li>• lösen einfache Aufgaben mit Hilfe der Gesetzmäßigkeit <math>U_K = U_0 - R_i \cdot I</math>.</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• messen die Klemmenspannung einer Batterie in Abhängigkeit von der Gesamtstromstärke im angeschlossenen Stromkreis und dokumentieren das Ergebnis in Form eines <math>U(I)</math>-Diagramms,</li> <li>• leiten aus dem <math>U(I)</math>-Diagramm für die Klemmenspannung einer Batterie die Gesetzmäßigkeit <math>U_K = U_0 - R_i \cdot I</math> her,</li> <li>• zeichnen das Ersatzschaltbild für das Modell einer realen Elektrizitätsquelle,</li> <li>• planen ein Experiment zur Bestimmung des Innenwiderstands einer Batterie und führen es durch.</li> </ul>
<p><b>Spezifischer Widerstand</b> Die Schülerinnen und Schüler</p>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• messen den Widerstand eines Metalldrahtes in Abhängigkeit von dessen Länge und Querschnittsfläche,</li> <li>• begründen die Proportionalität des Widerstandes zur Länge mit einem Modell des Drahtes als Serienschaltung kurzer Drahtstücke,</li> <li>• begründen die umgekehrte Proportionalität des Widerstandes zur Querschnittsfläche mit einem Modell des Drahtes als Parallelschaltung dünner Drahtfasern,</li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

## Fachwissen

Erkenntnisgewinnung,  
Kommunikation, Bewertung

- definieren die physikalische Größe spezifischer Widerstand und geben ihre Einheit an:

$$\rho = \frac{R \cdot A}{\ell}, [\rho] = 1 \Omega \text{m}$$

- bezeichnen den Kehrwert des spezifischen Widerstandes als elektrische Leitfähigkeit,
- lösen einfache Aufgaben mit Hilfe der Gesetzmäßigkeit  $R = \rho \cdot \frac{\ell}{A}$ .

- recherchieren die spezifischen Widerstände verschiedener Stoffe und ordnen sie einer der Gruppen Leiter, Halbleiter oder Isolator zu.

**Leitungsvorgänge in Halbleitern und Dioden**

Die Schülerinnen und Schüler

- erläutern ein einfaches Modell der Eigenleitfähigkeit eines Halbleiters durch Elektronen- und Löcherleitung,
- geben die Dotierung (n- oder p-Dotierung) eines Halbleiters als Möglichkeit zur Erhöhung der Leitfähigkeit eines Halbleiters an,
- bezeichnen ein Bauelement mit nur einem p-n-Übergang als Diode,
- geben an, dass für den Betrieb einer Diode ein Vorwiderstand als Strombegrenzer notwendig ist,
- erläutern die Veränderungen in der p-n-Grenzschicht einer Diode bei Polung in Sperr- und Durchlassrichtung,
- zeichnen das Schaltbild verschiedener Gleichrichterschaltungen,
- erläutern Anwendungen, bei denen Gleichrichterschaltungen verwendet werden.

Die Schülerinnen und Schüler

- erklären die Änderung der Leitfähigkeit durch Energiezufuhr (Licht, Wärme) bei metallischen Leitern und bei Halbleitern mit Hilfe der unterschiedlichen Leitungsmodelle,
- planen ein Experiment zur Leitfähigkeit von Dioden, führen es durch und dokumentieren als Ergebnis die beiden prinzipiellen Schaltzustände einer Diode (Sperr- und Durchlassrichtung),
- erklären mit den Veränderungen in der p-n-Grenzschicht die unterschiedliche Leitfähigkeit einer Diode bei Polung in Sperr- und Durchlassrichtung,
- messen die Stromstärke durch eine Diode in Abhängigkeit von der Spannung und protokollieren das Ergebnis in Form einer I(U)-Diagramms („U-I-Kennlinie“),
- erklären die Funktionsweise einer Gleichrichterschaltung.

## Hinweise

**Allgemeine Hinweise:**

- Eigenschaften elektrischer Feldlinien:
  - keine Kreuzungen,
  - stehen senkrecht auf Leiteroberflächen,
  - beginnen bei positiven Ladungen,
  - enden auf negativen Ladungen
- Faraday-Käfig zur Abschirmung elektrischer Felder
- Unterscheidung der Driftgeschwindigkeit der Elektronen von der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen Kraftwirkung längs des Leiters
- Ohmsches Gesetz (**ohne** Widerstandsdefinition) bereits in Klassenstufe 7
- Unterscheidung: Kaltleiter (Metalle) und Heißeiter (Halbleiter)
- Knotenregel nicht experimentell ermitteln (da zur Eichung eines Amperemeters die Knotenregel bereits benutzt wird)
- Ersatzwiderstand einer Serienschaltung größer als größter Einzelwiderstand
- Ersatzwiderstand einer Parallelschaltung kleiner als kleinster Einzelwiderstand
- Stromnetz im Haushalt als Parallelschaltung
- Weihnachtsbaumbeleuchtung als Serienschaltung mit parallel geschalteten Heißeitern
- Innenwiderstände:
  - gewöhnliche Batterie:  $R_i = 5\Omega$
  - Bleiakkumulator (Autobatterie):  $R_i = 0,1\Omega$
- Aufbau einer Hochspannungsleitung: Aluminiummantel mit Stahlseele (Kompromiss aus Leitfähigkeit, Zugfestigkeit und Dichte)
- Garagenmodell des Halbleiters von Shockley zur Erklärung der Eigenleitfähigkeit von Halbleitern

**Zusätzliche geeignete (Schüler-)Experimente**

- Messung des Körperwiderstandes (elektrischer Widerstand zwischen linker und rechter Hand) der Schülerinnen und Schüler, auch in Serien- oder Parallelschaltung
- "Herstellung" von Drahtstücken mit vorgegebenem Widerstand  $R$  bei bekanntem spezifischem Widerstand  $\rho$
- Einweg-Gleichrichterschaltung und Zweiweg-Gleichrichterschaltung (Brückengleichrichter)

**Projekte**

- Lametta-Elektroskop
- Elektrizitätsquelle im Eigenbau: „Obstbatterie“
- Widerstände im Eigenbau: gewickelte Drähte als fester Widerstand oder als Schiebewiderstand
- Regelbare Elektrizitätsquelle im Eigenbau: Potentiometer-Schaltung mit Obstbatterie und Schiebewiderstand
- Transistoren

**Hinweise****Fachübergreifende und fächerverbindende Bezüge**

- Chemie: Coulomb-Kraft als Ursache für Ionenbindung, Elektrolyse (historische Festlegung von 1 A), chemische Vorgänge in Batterien
- Biologie: Reizweiterleitung in den Nerven

**Geeignete Kontexte**

- Rauchgasreinigung: Elektrofilter zur Entstaubung von Rauchgasen
- Kunststoffrecycling: Elektrostatische Trennung chemisch verschiedener Kunststoffteilchen ähnlicher Dichte (z. B. PET und PVC)
- Gewitterentstehung und Blitzschutz
- Funktionsweise von Laserdruckern oder Kopiergeräten

Die elektromagnetische Wechselwirkung ist innerhalb der Physik der Mittelstufe eines der anspruchsvollsten Stoffgebiete. Zwar fußt ein Großteil unserer technisierten Welt auf ihr, aber in den Geräten des täglichen Gebrauchs ist sie verborgen und der unmittelbaren Erfahrung entzogen. Eine übergeordnete Aufgabe innerhalb dieses Themenfeldes besteht deshalb darin, die Phänomene der elektromagnetischen Wechselwirkung für die Schülerinnen und Schüler erlebbar zu machen.

Inhaltlich wird zunächst das Magnetfeld über die aus Klassenstufe 7 bekannte Wirkung auf Testmagnete „bezeichnet“ und am Kapitelende über die neu entdeckte Wirkung auf bewegte Ladungsträger „definiert“. Die beiden Festlegungen widersprechen sich nicht, da die Elementarmagnete, aus denen die Testmagnete „bestehen“, als kreise(l)nde Elektronen im Atom interpretiert werden können.

Bei der Induktion wird in der Regel die Induktionsspannung gemessen. Digitale Multimeter zum Nachweis der Induktion, wie sie in Klassenstärke oft vorhanden sind, haben (meist) träge Anzeigen und die Ziffern des Displays vermitteln keinen Eindruck vom auftretenden Spannungsstoß. Gute Zeigergeräte oder zeitaufgelöste Messwerterfassungssysteme sind hier (didaktisch) überlegen.

Dort wo Induktionsströme auftreten, wird von der Rückwirkung auf die Induktionsursache (im Sinne der Lenz'schen Regel) abgesehen. Experimente, die diese Rückwirkung in den Vordergrund stellen, sollten unterbleiben - auch wenn sie zum Teil „spektakulär“ sind. Betrachtungen zur Energie und Leistung bei offenem bzw. geschlossenem Induktionskreis sind hingegen möglich und sinnvoll (Generator, Transformator).

Das Induktionsgesetz wird qualitativ formuliert über „die Änderung des Magnetfeldes, das eine Spule durchsetzt“. Die Schülerinnen und Schüler sollten dabei das Bild der Feldlinien, die durch die Leiterschleife „hindurchgehen“, vor Augen haben. Dazu sind bei den Auswertungen der Einzelerperimente entsprechend gestaltete, konsistente Zeichnungen nützlich. Eine quantitative Fassung des Induktionsgesetzes und die Definition des magnetischen Flusses erfolgen erst in der Klassenstufe 11.

Bei der Beschreibung des Wechselstroms kann auf die Formulierung „sinusförmig“ verzichtet werden. Die experimentell gewonnenen  $U(t)$ -Diagramme sind in der Regel nicht sinusförmig, und den Schülerinnen und Schülern ist der sinusförmige Verlauf unbekannt, da sich die trigonometrischen Funktionen und ihre Graphen erst im Mathematikunterricht der Klassenstufe 10 finden. Dennoch können Maximalwerte, Periode und Frequenz als Kennzeichen sich wiederholender Zeitabläufe angegeben, aus Diagrammen abgelesen oder in sie eingezeichnet werden.

Ohne mathematische Kenntnisse der Sinusfunktion kann auch der Umrechnungsfaktor zwischen Scheitelwerten und Effektivwerten nicht hergeleitet werden. Es genügt daher die einfache Angabe für die Wechselspannung des öffentlichen Stromnetzes ohne weitere Problematisierung.

<b>Kompetenzerwartungen</b>	
<b>Fachwissen</b>	<b>Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung</b>
<p><b>Stromdurchflossene Leiter im Magnetfeld</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>bezeichnen einen Raum, in dem ein Probemagnet durch eine Kraftwirkung ausgerichtet wird, als magnetisches Feld,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>führen ein Experiment durch, bei dem sie verdeckte Magnete und deren Nord- und Südpole lokalisieren,</li> </ul>



Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern das Modell der magnetischen Feldlinien, deren Richtung in jedem Raumpunkt mit der Richtung der magnetischen Kraft auf den Nordpol eines Probemagneten an dieser Stelle übereinstimmt,</li> <li>• beschreiben ein Experiment zur Veranschaulichung magnetischer Feldlinien,</li> <li>• nennen die wesentlichen Eigenschaften magnetischer Feldlinien,</li> <li>• formulieren die UVW-Regel: Zeigt der Daumen der rechten Hand in die technische Stromrichtung und der ausgestreckte Zeigefinger in die Richtung des Magnetfeldes, so zeigt der abgewinkelte Mittelfinger in die Richtung der Kraft auf den stromdurchflossenen Leiter,</li> <li>• lösen einfache Aufgaben mit Hilfe der UVW-Regel,</li> <li>• beschreiben den Aufbau eines Gleichstrommotors und erklären seine Funktion mit Hilfe der UVW-Regel,</li> <li>• bezeichnen die Kraft, die auf bewegte Ladungsträger im Magnetfeld wirkt als Lorentzkraft <math>F_L</math>,</li> <li>• geben die Winkel zwischen der Richtung des Magnetfeldes und Bewegungsrichtung der Ladungsträger an, bei denen die Lorentzkraft maximal bzw. minimal wird,</li> <li>• definieren einen Raum, in dem auf bewegte, geladene Körper auf Grund ihrer Bewegung eine Kraft ausgeübt wird, als magnetisches Feld.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zeichnen die Feldlinienbilder für gerade stromdurchflossene Leiter und Spule,</li> <li>• beobachten den Leiterschaukelversuch und protokollieren die Krafrichtung in Abhängigkeit von der Stromrichtung und der Richtung des Magnetfeldes,</li> <li>• bauen den Leiterschaukelversuch so auf, dass eine gewünschte Krafrichtung nach der UVW-Regel zu beobachten ist,</li> <li>• beobachten die Ablenkung eines Elektronenstrahls im Magnetfeld und protokollieren die Kraftwirkung in Abhängigkeit vom Winkel zwischen der Bewegungsrichtung der Elektronen und der Richtung des Magnetfeldes.</li> </ul>
<p><b>Elektromagnetische Induktion</b></p> <p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• bezeichnen das Auftreten einer Spannung auf Grund der Bewegung eines Leiters im Magnetfeld als Induktion,</li> <li>• unterscheiden zwischen Induktionsspannung und Induktionsstrom,</li> </ul>	<p>Die Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• beobachten die Umkehrung des Leiterschaukelversuches und protokollieren die auftretende Spannung in Abhängigkeit von der Bewegung der Leiterschaukel,</li> <li>• erklären das Auftreten der Induktionsspannung im geraden Leiter mit Hilfe der Lorentzkraft,</li> </ul>

Kompetenzerwartungen

Fachwissen

Erkenntnisgewinnung,  
Kommunikation, Bewertung

- formulieren das Induktionsgesetz:  
Induktion tritt in einer Leiterschleife auf, wenn sich das Magnetfeld, das die Leiterschleife durchsetzt, zeitlich ändert,
- beschreiben den Aufbau eines Wechselspannungsgenerators und erklären seine Funktionsweise mit Hilfe des Induktionsgesetzes,
- bezeichnen die Dauer einer Wiederholung als Periode T,
- definieren die physikalische Größe Frequenz f als Quotienten aus der Anzahl  $\Delta n$  von Wiederholungen und der dazu benötigten Zeit  $\Delta t$  und geben ihre Einheit an:  
$$f = \frac{\Delta n}{\Delta t}, [f] = 1 \frac{1}{s} = 1 \text{ Hz}$$
- rechnen Perioden und Frequenzen ineinander um mit Hilfe der Beziehung:  
$$f = \frac{1}{T},$$
- geben die Frequenz der Wechselspannung des öffentlichen Stromnetzes an,
- erläutern anhand eines U(t)-Diagramms, dass eine Wechselspannung an einem Widerstand keine konstante Leistung erbringt,
- geben an, dass von Wechselspannungen immer „Leistungsmittelwerte“ angegeben werden, die kleiner als der Maximalwert sind (Effektivwerte),
- geben den Maximalwert und den Effektivwert der Spannung des öffentlichen Stromnetzes an.

- beteiligen sich aktiv an einem Experiment zum Nachweis der Induktionsspannung in einer Leiterschleife (oder Spule) bei der Relativbewegung von Magnet und Leiterschleife,
- beobachten das Auftreten der Induktion in einer Leiterschleife (oder Spule) beim Ein- und Ausschalten einer „benachbarten“ Spule,
- beteiligen sich aktiv an einem Experiment zum zeitlichen Verlauf der Induktionsspannung bei der gleichförmigen Drehung einer Leiterschleife (oder Spule) in einem homogenen Magnetfeld und dokumentieren das Ergebnis in Form eines U(t)-Diagramms,
- bestimmen Perioden und Maximalwerte von Wechselspannungen aus U(t)-Diagrammen,
- beobachten ein Experiment, das die unterschiedliche Leistungsfähigkeit von Gleich- und Wechselspannungen mit gleichen Maximalwerten belegt.

Kompetenzerwartungen

Fachwissen

Erkenntnisgewinnung,  
Kommunikation, Bewertung

**Transformator**

Die Schülerinnen und Schüler

- beschreiben den Aufbau eines Transformators und erklären seine Funktionsweise mit Hilfe des Induktionsgesetzes,

- formulieren die beiden Transformatorgesetze:

Bei einem unbelasteten Transformator verhalten sich die Spannungen wie die Windungszahlen:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

Bei einem belasteten Transformator verhalten sich die Stromstärken in guter Näherung umgekehrt wie die Windungszahlen:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1},$$

- lösen einfache Aufgaben zu den Transformatorgesetzen,
- geben die Bedingungen für die Windungszahlen beim Hochspannungs- und Hochstromtransformator an.

Die Schülerinnen und Schüler

- beobachten das Auftreten einer Induktionsspannung an der Sekundärspule eines Transformators in Abhängigkeit von der Art der angelegten Primärspannung (Gleichspannung / geschaltete Gleichspannung / Wechselspannung),

- beobachten bei einem unbelasteten Transformator die Sekundärspannung in Abhängigkeit von der Primärspannung,

- leiten das zweite Transformatorgesetz für verlustfreie Transformatoren aus dem ersten Transformatorgesetz her,

- beobachten Experimente zu den Wirkungen von Hochspannungstransformator und Hochstromtransformator,

- recherchieren technische oder industrielle Anwendungen des Transformators und präsentieren ihre Ergebnisse.

**Hinweise**

**Allgemeine Hinweise**

- Feldlinienbilder von Stab- und Hufeisenmagnet, geradem Leiter und Spule bereits aus Klassenstufe 7 bekannt
- Eigenschaften magnetischer Feldlinien:
  - keine Kreuzungen,
  - geschlossen,
  - im Außenbereich von Dauermagneten vom Nordpol weggerichtet und zum Südpol hingerrichtet
- UVW-Regel:
  - rechte Hand für positiv geladene Teilchen (technische Stromrichtung),
  - linke Hand für negativ geladene Teilchen (Elektronenstromrichtung)
- Schutzwirkung des Erdmagnetfeldes vor dem "Sonnenwind", Entstehung von Polarlichtern
- Technik: Magnetische Ablenkung von Strahlung (z. B. Fernrohr, Zyklotron)

**Hinweise**

- Gleichstrommotor: Stator („Ständermagnet“), Rotor („Anker“), Kommutator mit Bürsten
- Generatorprinzip und Transformatorprinzip als "Spezialfälle" des Induktionsgesetzes
- Generator als Umkehrung des Elektromotors
- Vergleich der Leistungsfähigkeit von Gleich- und Wechselstrom: Anlegen niederfrequenter Wechselspannung (Frequenzgenerator) und entsprechender Gleichspannung an baugleiche Glühlämpchen (Vergleich der Helligkeit, auch bei Steigerung der Frequenz)

**Zusätzliche geeignete (Schüler-)Experimente**

- Drehen eines Generators über eine Handkurbel mit und ohne Last
- Drehen einer Generators mit und ohne Kommutator

**Projekte**

- Bau eines Elektromotors
- Bürstenlose Motoren als Antrieb im Modellbau

**Außerschulische Lernorte**

- Umspannwerk

**Geeignete Kontexte**

- Kontaktlose Ladestationen für Akkus (z. B. Zahnbürste, Handy)
- Kochen mit Induktionsfeldern
- Bereitstellung beliebiger Spannungen (z. B. Laptop, Handy) unter Nutzung des öffentlichen Stromnetzes

Energie wird bis zu diesem Kapitel, ausgehend von der Definition, als Arbeitsfähigkeit verstanden. Diese legt die Verknüpfung des Energiebegriffs mit Zuständen, „die Energie haben“ nahe. Tatsächlich tritt Energie im Zusammenhang mit dynamischen Transport- oder Übertragungsvorgängen eher häufiger auf als bei eindeutig identifizierbaren statischen Zuständen. Hierfür hat sich der Begriff des Energiestromes oder Energieflusses herausgebildet, und die oben genannte Energiedefinition erweist sich bei dessen Betrachtung als wenig hilfreich.

Für die Schülerinnen und Schüler wird die Energiedefinition dennoch nicht formal geändert oder ergänzt. In der Beschäftigung mit konkreten Energiewandlern soll vielmehr die individuelle „Vorstellung von dem, was Energie ist“ um diesen Aspekt erweitert werden. Eine Vielzahl von Energiewandlern dient als Beispiel, gerade auch solche, deren Funktionsweise den Schülerinnen und Schülern vollkommen unbekannt ist. Energieflussdiagramme spiegeln diese Sichtweise des Energiewandlers als Black Box, durch die Energie „hindurchströmt“ und dabei ganz oder teilweise von einer Energieform in eine oder mehrere andere Energieformen umgewandelt wird.

Energiewandler, die nur untereinander Energie austauschen, bilden ein abgeschlossenes System. In diesen ist definitionsgemäß die Energie erhalten - der allgemeine Energieerhaltungssatz erscheint aus Schülersicht banal. Erst wenn die Schülerinnen und Schüler den Fragen nachgehen, welche Energiewandler im konkreten Fall zu einem abgeschlossenen System „dazugehören“ und ob (oder in welchem Maße) man ein Teilsystem vom Rest abkoppeln kann, offenbart sich die Reichweite dieses wichtigsten Satzes der Physik.

Der Schwerpunkt des Themenfeldes ist jedoch die gesellschaftliche Dimension der Energie. Die Schülerinnen und Schüler sollen in die Lage versetzt werden, an der Diskussion um die heutige und zukünftige Energieversorgung verantwortlich teilzunehmen. Dazu ist von den relevanten Energiewandlern vom Typ Kraftwerk ein hinreichendes Faktenwissen unabdingbar.

Die Beschaffung dieses Wissens und dessen adressatengerechte Weitergabe soll von den Schülerinnen und Schülern möglichst eigenverantwortlich geleistet werden. Den anschließenden Diskussionen muss genügend Zeit zugebilligt werden, und sie müssen ergebnisoffen geführt werden.

**Kompetenzerwartungen**

**Fachwissen**

**Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung**

**Energiewandler und Energieerhaltung**

Die Schülerinnen und Schüler

- beschreiben den prinzipiellen Aufbau eines Kohlekraftwerks und erläutern seine Funktionsweise,
- erläutern die Energieumwandlungsprozesse in einem Kohlekraftwerk,
- bezeichnen eine Vorrichtung, die die Energie zwischen zwei Systemen austauscht, als Energiewandler,
- nennen verschiedene Energiewandler und die jeweiligen Formen der zugeführten und abgegebenen Energie,

Die Schülerinnen und Schüler

- stellen Energiewandler als Bausteine eines Energieflussdiagramms dar,
- zeichnen das Energieflussdiagramm eines einfachen Stromkreises aus Batterie und Glühlampe,
- zeichnen das Energieflussdiagramm eines Kohlekraftwerks,

## Kompetenzerwartungen

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• unterscheiden bei der abgegebenen Energie zwischen Nutzenergie und Verlustenergie,</li> <li>• bezeichnen die von einem Energiewandler abgegebene Nutzenergie auch als von ihm „bereitgestellte“ oder „erzeugte“ Energie,</li> <li>• bezeichnen die Bereitstellung elektrischer Energie auch als „Stromerzeugung“,</li> <li>• bezeichnen Körper, die nur untereinander Energie austauschen, als abgeschlossenes System,</li> <li>• formulieren den allgemeinen Energieerhaltungssatz: In einem abgeschlossenen System ist die Gesamtenergie konstant,</li> <li>• definieren den Wirkungsgrad eines Energiewandlers als Quotient aus der abgegebenen Nutzenergie und der ihm in der gleichen Zeit zugeführten Energie: <math display="block">\eta = \frac{E_{\text{nutz}}}{E_{\text{zu}}}</math>,</li> <li>• geben typische Wirkungsgrade häufig gebrauchter Energiewandler an,</li> <li>• geben an, dass für jeden Energiewandler gilt: <math display="block">\eta \leq 1</math></li> <li>• lösen einfache Aufgaben zur Energieumwandlung mit der Beziehung: <math display="block">E_{\text{nutz}} = \eta \cdot E_{\text{zu}}</math>,</li> <li>• berechnen den Gesamtwirkungsgrad einer Energiewandlungskette.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zeichnen die Energieflussdiagramme von Solarzelle und Leuchtdiode als Umkehrungen voneinander,</li> <li>• planen ein Experiment, das ein abgeschlossenes System realisieren soll, führen es durch und dokumentieren das (negative) Ergebnis als „Unmöglichkeit des perpetuum mobile“.</li> </ul>
<p><b>Kraftwerke</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• unterscheiden Wärmekraftwerke hinsichtlich der eingesetzten Primärenergieträger,</li> <li>• unterscheiden bei Wärmekraftwerken zwischen fossilen und regenerativen Primärenergieträgern,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• recherchieren und vergleichen die Gesamtwirkungsgrade von verschiedenen Wärmekraftwerken,</li> <li>• diskutieren die Möglichkeit den Wirkungsgrad von Wärmekraftwerken durch Kraft-Wärme-Kopplung zu erhöhen,</li> <li>• recherchieren den Aufbau und die Funktionsweise von Wasser-, Wind- und Solar-kraftwerken und präsentieren diese,</li> </ul>

## Kompetenzerwartungen

## Fachwissen

Erkenntnisgewinnung,  
Kommunikation, Bewertung

- unterscheiden beim Bedarf an elektrischer Energie Grund-, Mittel- und Spitzenlast.

- zeichnen die Energieflussdiagramme von Wasser-, Wind- und Solarkraftwerken,
- recherchieren und vergleichen die Gesamtwirkungsgrade von Wasser-, Wind- und Solarkraftwerken,
- beurteilen die Eignung verschiedener Kraftwerkstypen zur Abdeckung von Grund-, Mittel- und Spitzenlast,
- recherchieren die Umwelteinflüsse durch die Rohstoffgewinnung und den Betrieb verschiedener Kraftwerkstypen,
- diskutieren und bewerten verschiedene Kraftwerkstypen und ihren Anteil an der Stromerzeugung in ökonomischer und ökologischer Hinsicht.

## Energiehaushalt und Energieentwertung

- geben den jährlichen Bedarf an elektrischer Energie für einen durchschnittlichen Haushalt an,
- geben die elektrischen Leistungen verschiedener Haushaltsgeräte an,
- berechnen den jährlichen Energiebedarf und die Kosten von selbst genutzten Geräten,
- vergleichen die Wirkungsgrade von verschiedenen Energiewandlern zur Lichterzeugung,
- ordnen Energieformen eine Wertigkeit zu, entsprechend ihrer Wandelbarkeit in andere Energieformen,
- nennen innere Energie von Körpern mit Umgebungstemperatur als niederwertigste Energieform,
- unterscheiden Energieerhaltung und Energieentwertung bei Energiewandlern.

- diskutieren Konsequenzen aus der Forderung nach ständiger Verfügbarkeit der elektrischen Energie,
- diskutieren Maßnahmen zur Energieeinsparung auf lokaler und globaler Ebene.

## Hinweise

## Allgemeine Hinweise:

- Energiewandlungsprozesse am konkreten Beispiel des Kohlekraftwerks einführen
- Energiewandler und Wirkungsgrad eines Energiewandlers im NW-Zweig schon in Klassenstufe 8
- Wirkungsgrad auch als Leistungsquotient:  $\eta = \frac{P_{\text{nutz}}}{P_{\text{zu}}}$

**Hinweise**

- Häufig gebrauchte Energiewandler (maximaler Wirkungsgrad Stand 2013):
  - Elektromotor (90%)
  - Batterie (Bleiakku 60%, Lithium-Ionen-Akku 90%)
  - Generator (99%)
  - Verbrennungsmotor (Ottomotor 40%, Pkw-Diesel 50%, Schiffsdiesel 55%)
- Kernkraftwerke zählen zu den Wärmekraftwerken, Funktionsprinzip des nuklearen Teils erst in Klassenstufe 10
- Kraftwerke (typischer Wirkungsgrad Stand 2013):
  - Kohlekraftwerk (veraltete 25%, moderne 38%)
  - Gas- und Dampfkraftwerke (58%)
  - Solarzellen (16%)
  - Windkraftanlagen (bis 50%)
  - Wasserkraftwerke (80–90%)
  - Kernkraftwerke (30%)
- Wirkungsgrad von Wärmekraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung: 80% und mehr
- Beschäftigung mit der gesellschaftlichen Diskussion zur künftigen Energieversorgung ausdrücklich erwünscht
- Europäisches Stromverbundnetz als fundamentales System der Versorgung mit elektrischer Energie

**Zusätzliche geeignete (Schüler-)Experimente**

- Wirkungsgrade von Haushaltsgeräten als Wandler von elektrischer in mechanische Energie bestimmen (Mixer oder Bohrmaschine verrichten Hubarbeit)
- Wirkungsgrad eines Heißwasserkochers als Wandler von elektrischer Energie in innere Energie des Wassers bestimmen
- Aufbau von Stromkreisen mit alternativen Elektrizitätsquellen wie Solarzelle, Brennstoffzelle, Windgenerator
- Aufbau von Stromkreisen mit baugleichen Elektromotoren und Generatoren

**Projekte**

- Energiedetektive 1: Wofür wird die Energie in unserem Haushalt bzw. unserer Schule aufgewandt?
- Energiedetektive 2: Wo „verliert“ unser Haus bzw. unsere Schule Energie?
- Kraftwerksutopien: Wie sieht unsere Energieversorgung in 100 Jahren aus?
- Energie ernten: Wie sammelt man „freie“ Energie?
- Ökologischer Fußabdruck: Wie misst man den ökologischen Impact einer Ware oder Dienstleistung?

**Außerschulische Lernorte**

- Besichtigung eines Kraftwerks (z. B. Kohle, Wind)
- Schülerlabore (EnerTec)



## Hinweise

**Fachübergreifende und fächerverbindende Bezüge**

- Politik:  
Bürgerbeteiligung an Genehmigungsverfahren für Windkraft- oder Photovoltaikanlagen, politische Entscheidungen zur Energieversorgung auf lokaler, nationaler und internationaler Ebene
- Erdkunde:  
Lagerstätten und Transportwege der Primärenergieträger, Länderspezifische Unterschiede in der Energieversorgung (Industrienationen/Entwicklungsländer oder Exportnationen/Importnationen), Geothermie Standorte, regenerativen Energieformen als Wirtschafts- und Standortfaktor

**Geeignete Kontexte:**

- Energetische Sanierung von Altbauten
- Energetische Mindeststandards für Neubauten
- Kampagne „Reuse-Reduce-Recycle“
- Müllverbrennung - Müllvermeidung
- Treibhauseffekt
- Bevölkerungsentwicklung weltweit und die notwendige Energieversorgung
- Leitungsneubau: Nord/Süd, Gleichstrom/Wechselstrom

Im naturwissenschaftlichen Zweig sieht der Lehrplan verpflichtend ein Wahlthema vor.

Der Lehrplan enthält in der Inhaltsübersicht mit \* gekennzeichnete Wahlthemen – Vorschläge. Entscheidet sich eine Lehrkraft diese alle zu realisieren, so entfällt die Möglichkeit ein freies Thema zu bearbeiten. Möchte eine Lehrkraft ein eigenes Wahlthema bearbeiten, so streicht sie 1 bis maximal 2 der mit \* gekennzeichneten Themen.

Die inhaltsbezogenen und prozessbezogenen Kompetenzerwartungen für eigene Wahlthemen sind von der Lehrkraft zu formulieren. Das Wahlthema kann auch als Praktikum oder Projekt angelegt sein.

**Beispiele für Wahlthemen (vgl. auch Klassenstufe 8)**

- Fotografie
- Elektromotoren und Elektromobilität
- Elektronik
- Sensorik
- Kraftwerksmodelle im Eigenbau
- Klimawandel, Treibhauseffekt
- Energieversorgung mit Wasserstoff und Brennstoffzellen
- Wärmekraftmaschinen