

Gymnasiale Oberstufe Saar (GOS)

## **Lehrplan Physik**

G-Kurs

Februar 2008

# VORBEMERKUNGEN

## Hinweise zu den Lerninhalten

### 1. Felder

Eine anschauliche Vorstellung über das Modell „Feld“ zur Beschreibung von Wechselwirkungen wird durch das Feldlinienkonzept geliefert. Die Einbindung geeigneter Software in Verbindung mit Experimenten unterstützt die Vorstellung von Feldlinien als Raumkurven. Aufbauend auf der qualitativen Beschreibung von Feldern in der Sekundarstufe I folgt in der Hauptphase die quantitative Beschreibung der Felder mittels Feldgrößen, die jeweils durch die Kraftwirkung auf einen Probekörper eingeführt werden.

Die Betonung von Analogien bei der Beschreibung von Gravitationsfeld, elektrischem und magnetischem Feld hilft, übergreifende Modellvorstellungen zu verdeutlichen. Eine mögliche Vertiefung kann hier die Arbeit im Radialfeld sein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Integralbegriff den Schülerinnen und Schülern aus der Mathematik an dieser Stelle noch nicht zur Verfügung steht.

Die Integralschreibweise wird bei der Betrachtung von Stromstärke und Ladung eingeführt. Aufbauend auf dem bekannten Zusammenhang für konstante Stromstärken erfolgt der Übergang zu zeitabhängigen Stromstärken durch geometrische Veranschaulichung mittels der Fläche unter dem  $I(t)$ -Graphen. Aufgaben sollten an dieser Stelle auf Abschätzungen der in einem Zeitintervall geflossenen Ladung aus dem Diagramm begrenzt werden.

Mit der Behandlung von Kondensator und Spule sowie ihrer Kenngrößen sind die Grundlagen für die spätere Betrachtung elektromagnetischer Schwingungen geschaffen.

Die Kenntnis der Feldgrößen erlaubt die Beschreibung der Bewegungen von Ladungsträgern in Feldern. Die Beschränkung auf Bewegungen im elektrischen Längsfeld und im magnetischen Feld führt zur Behandlung exemplarischer Anwendungen. Aus Überlegungen zum Energiezuwachs von beschleunigten Teilchen mit zunehmender Geschwindigkeit folgt die Beschreibung relativistischer Effekte. Insbesondere kann an dieser Stelle eine Exkursion in eine Forschungsanstalt (z.B. GSI Darmstadt, MPG Garching, DESY Hamburg, CERN Genf) motivieren, da die physikalischen Grundlagen nun bekannt sind.

### 2. Elektromagnetische Induktion

Ein elementares Verständnis der Grundlagen der elektromagnetischen Induktion wurde den Schülerinnen und Schülern bereits in der Sekundarstufe I vermittelt, in der durch die Betrachtung des Generator- und Transformatorprinzips in besonderem Maße an bedeutsame technische Anwendungen angeknüpft wurde. In der Hauptphase erfolgt darauf aufbauend eine Vertiefung durch die einheitliche formale Beschreibung der unterschiedlichen Induktionsvorgänge im Induktionsgesetz. Die quantitative Fassung in Größengleichungen ist möglich, nachdem die erforderlichen Feldgrößen eingeführt sind.

Als charakteristische Größe für Induktionserscheinungen wird der Spannungsstoß eingeführt und zur quantitativen Versuchsauswertung benutzt. Zur induktiven Entwicklung des Induktionsgesetzes können alle Teilaspekte experimentell erfasst werden. An dieser Stelle leistet ein Messwerterfassungssystem wertvolle Hilfe, zumal der Integralbegriff aus dem Mathematikunterricht noch nicht zur Verfügung steht. Die Durchführung entsprechender Versuche können Schülerinnen und Schüler problemlos leisten. Für Sonderfälle wird die induzierte Spannung hergeleitet. Das Lenz'sche Gesetz wird durch motivierende Experimente belegt.

Die Behandlung der Selbstinduktion führt zur Induktivität als weiterer wichtiger Kenngröße eines Leiters nach Widerstand und Kapazität. Zusammen mit der Energie des Magnetfeldes liefert die Selbstinduktion die Voraussetzungen für die Erfassung elektromagnetischer Schwingungen und Wellen.

### 3. Schwingungen und Wellen

Schwingungs- und Wellenphänomene sind in unserer natürlichen und technischen Umwelt vielfältig zu beobachten und von hoher Bedeutung. Die komplexen Erscheinungen aus unterschiedlichen Be-

reichen der Physik lassen sich gleichartig beschreiben. Grundlegende Begriffe lernen die Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe I bei der Behandlung des Wechselstromes sowie der akustischen Schwingungen (im mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig) kennen.

Wegen ihrer Anschaulichkeit stehen zunächst mechanische Schwingungen und Wellen im Vordergrund. Um verschiedene Lösungswege zu verdeutlichen, wird die Differentialgleichung der harmonischen Federschwingung sowohl aus dem Kraft- als auch dem Energieansatz aufgestellt. Mittels eines Messwerterfassungssystems können die Bewegungsgrößen leicht aufgezeichnet werden. Werden an dieser Stelle Modellbildungssysteme eingesetzt, können zum Beispiel auch Schwingungsvorgänge mit Reibung und gedämpfte Schwingungen untersucht werden.

Die fachübergreifende Bedeutung des Prinzips der Rückkopplung sollte betont werden. Resonanzen können an vielen Beispielen demonstriert werden.

Bei der Behandlung von Wellen erhöhen Simulationen und Videos ergänzend zu den Experimenten die Anschauung. Interferenz in Verbindung mit dem Begriff Gangunterschied kann exemplarisch im Nahfeld betrachtet werden, zielführend für die Optik ist jedoch die Betrachtung paralleler Wellenbündel im Fernfeld. Bei der Besprechung des Huygens'schen Prinzips beschränke man sich auf die Deutung der experimentell dargestellten Phänomene mit Hilfe von Elementarwellen.

Die Einführung stehender Wellen erfolgt anschaulich auf einem eindimensionalen Träger. An dieser Stelle können vielfältige Freihandversuche zum Beispiel mit langen Federn und Luftsäulen von Schülerinnen und Schülern selbst durchgeführt werden. Es bietet sich auch eine Zusammenarbeit mit der Fachrichtung Musik an. Die Kundt'schen Staubfiguren sowie das Rubens'sche Flammenrohr demonstrieren in eindrucksvoller Weise stehende Schallwellen. Die fundamentale Bedeutung stehender Wellen in der Quantenphysik kann hier schon angedeutet werden.

In Abänderung der dargestellten Reihenfolge kann die Behandlung der mechanischen Schwingungen und Wellen aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Bewegungslehre in der Einführungsphase auch zu Beginn der Hauptphase erfolgen. Zu diesem Zeitpunkt müssten zur Lösung der Differentialgleichung der harmonischen Federschwingung allerdings die Ableitung der Sinusfunktion sowie die Kettenregel angegeben werden, da diese aus dem Mathematikunterricht noch nicht zur Verfügung stehen.

Die analoge mathematische Struktur bei der Beschreibung mechanischer und elektromagnetischer Schwingungen zeigt den Schülerinnen und Schülern erneut die Bedeutung übergreifender Modellvorstellungen in der Physik. Die hohe Relevanz der Erkenntnisse über elektromagnetische Schwingungen und Wellen für die Kommunikationstechnologie wird dargestellt.

Interessante Kontexte liefern die Anwendungen der Beugung von Wellen an periodischen Strukturen. Einerseits kann die spektrale Zusammensetzung jeglicher Strahlung untersucht werden, andererseits wird die Struktur der beugenden Objekte damit erforscht. Bei der Demonstration der Beugung sollte insbesondere der Doppelspalt aufgrund seiner Rolle bei der Wahrscheinlichkeitsdeutung der Quantenmechanik herangezogen werden. Hier motivieren Schülerexperimente mit Laserpointern und auf Folie selbst hergestellten Beugungsstrukturen. Der Intensitätsbegriff sollte nur anschaulich beschrieben werden.

#### 4. Quanten und Atome

Mit der Beschreibung des Photoeffektes erfolgt der Einstieg in die Grundlagen der modernen Physik. Die bisherigen experimentellen Befunde konnten mit Hilfe der klassischen Methoden gedeutet werden. Während dabei die Vorstellung und die Anschauung von ganz entscheidender Bedeutung waren, führt die Betrachtung der Phänomene in der Quantenphysik zu grundlegend neuen Methoden und Denkweisen.

Das Prinzip Effekt–Umkehrereffekt (z.B. bei den Lerninhalten Photoeffekt–Röntgenstrahlung sowie Teilcheneigenschaften von Photonen–Welleneigenschaft von Elektronen) gibt einen Einblick in den Prozess der physikalischen Erkenntnisgewinnung. Besonders motivierend ist in diesem Zusammenhang der experimentelle Nachweis der De-Broglie-Hypothese mit Hilfe der Elektronenbeugungsröhre. Die Betrachtung des Doppelspaltexperimentes, das mit geeigneter Software simuliert werden kann, führt zur Wahrscheinlichkeitsdeutung und zur Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation. In vielen Fällen muss der Unterricht sich darauf beschränken, Lerninhalte nur qualitativ zu erfassen, da

eine präzise Beschreibung mit Hilfe der Schulmathematik nicht zu leisten ist. Um Fehlvorstellungen entgegenzuwirken, sollte auch stets der Modellbegriff betont werden.

Die Behandlung der Atommodelle nimmt Bezug auf die Lerninhalte der Einführungsphase. Aufgrund der großen Anschaulichkeit und seiner Leistungsfähigkeit bei der Beschreibung des Wasserstoffatoms wird auf das Bohr'sche Atommodell nicht verzichtet. Die quantenphysikalischen Unzulänglichkeiten dieses Modells machen seine Bedeutung als historischen Zwischenschritt bewusst und führen zur Entwicklung des Potentialtopfmodells.

Basierend auf den Inhalten der Einführungsphase schließt der Lehrplan mit der Behandlung der Radioaktivität. Da die quantenphysikalische Begrifflichkeit sowie die mathematischen Werkzeuge inzwischen zur Verfügung stehen, kann diese Thematik auf entsprechendem physikalischen Niveau bearbeitet werden. Setzt man an dieser Stelle Modellbildungssysteme ein, lassen sich zum Beispiel auch Mutter-Tochter-Systeme einfach beschreiben. Als nützliche Anwendung des radioaktiven Zerfalls wird die C14-Methode zur Altersbestimmung herangezogen. Hier motivieren insbesondere konkrete Fallbeispiele aus der Forschung.

### **Allgemeine Hinweise:**

Wenn Experimente unter Beachtung der Sicherheitsvorkehrungen und Rahmenbedingungen durch Schülerinnen und Schüler durchgeführt werden können, sollte die Chance für die Selbsttätigkeit genutzt werden. Auf Fehlerbetrachtungen sollte bei Versuchsauswertungen stets Wert gelegt werden.

Medien wie Modellbildungssysteme, Simulationen, Computeralgebra-Systeme, Videos usw. können dann Gewinn bringen, wenn sie zielgerichtet eingesetzt werden. Simulationen und ähnliche Programme sollten jedoch in keinem Fall im Physikunterricht ein ausführbares Experiment ersetzen.

# LERNINHALTE

	Stunden
<b>1. FELDER</b>	<b>49</b>
1.1. Gravitationsfeld	8
1.2. Elektrisches Feld	18
1.3. Magnetisches Feld	6
1.4. Bewegung von Ladungsträgern in Feldern	17
<b>2. ELEKTROMAGNETISCHE INDUKTION</b>	<b>12</b>
2.1. Induktionsgesetz	8
2.2. Selbstinduktion und Energie des magnetischen Feldes	4
<b>3. SCHWINGUNGEN UND WELLEN</b>	<b>39</b>
3.1. Mechanische Schwingungen	7
3.2. Mechanische Wellen	12
3.3. Elektromagnetische Schwingungen	7
3.4. Elektromagnetische Wellen	6
3.5. Wellenmodell des Lichtes	7
<b>4. QUANTEN UND ATOME</b>	<b>40</b>
4.1. Photonenmodell	10
4.2. Korpuskulare Eigenschaften von Photonen	4
4.3. Welleneigenschaften von Elektronen	3
4.4. Wahrscheinlichkeitsdeutung	3
4.5. Kern-Hüllenmodell des Atoms	10
4.6. Kernphysik und Radioaktivität	10

Physik G-Kurs		1. Halbjahr der Hauptphase	
1. FELDER		49 Stunden	
Verbindliche Inhalte		Vorschläge und Hinweise	
<b>1.1. GRAVITATIONSFELD</b>		<b>8 Stunden</b>	
<b>1.1.1. Gravitationskraft</b>			
<p><b>G:</b> Newton'sches Gravitationsgesetz:</p> $F_G = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \text{ mit } \vec{F}_G \parallel \vec{r}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschreibung eines Versuchs zur Bestimmung der Gravitationskonstanten</li> <li>• Deutung der Fallbeschleunigung als Gravitationsfeldstärke, Definition über die Kraftwirkung auf eine Masse</li> <li>• Höhenabhängigkeit der Fallbeschleunigung als Folge des Gravitationsgesetzes</li> <li>• Berechnung der Erdmasse aus der Erdbeschleunigung</li> </ul>		<p>Isaac Newton (1643 – 1727)</p> <p>Beleg für <math>F_G \sim \frac{1}{r^2}</math> aus der „Newton'schen Mondrechnung“</p> <p>Experimente von:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Henry Cavendish (1798)</li> <li>• Johann Philipp Gustav Jolly (1878) (Deutsches Museum München: <a href="http://www.deutsches-museum.de">www.deutsches-museum.de</a>)</li> </ul> <p>Gravitationsfeld als erstes Beispiel für den Feldbegriff</p> <p>☞(Erdkunde): Beeinflussung der Erdbeschleunigung durch die Erdabplattung, Erdrotation und lokale Dichteschwankungen</p>	
<b>1.1.2. Bewegung von Himmelskörpern</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau unseres Sonnensystems</li> <li>• Planeten- und Satellitenbewegung</li> </ul> <p><b>G:</b> Kepler'sche Gesetze</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammenhang zwischen dem 3. Kepler'schen Gesetz und dem Newton'schen Gravitationsgesetz</li> <li>• Berechnung von Bahnparametern und der Masse von Zentralkörpern</li> <li>• Synchronsatelliten, erdnahe Satelliten</li> </ul>		<p>☞(Geschichte, Religion, Philosophie): Historische Entwicklung der Weltbilder, geo- und heliozentrisches Weltbild, heutige Vorstellung von der Struktur des Weltalls</p> <p>@ Simulationsprogramme, Medien zur Astronomie</p> <p>☞(Erdkunde): Gezeiten</p> <p>Johannes Kepler (1571 – 1630)</p> <p>☞(Mathematik): Kegelschnitte</p> <p>Exkursionen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sternwarte Peterberg</li> <li>• Planetenlehrweg Nonnweiler</li> <li>• Planetarium Mannheim</li> </ul>	

Physik G-Kurs		1. Halbjahr der Hauptphase	
1. FELDER		49 Stunden	
Verbindliche Inhalte		Vorschläge und Hinweise	
<b>1.2. ELEKTRISCHES FELD</b>		<b>18 Stunden</b>	
<b>1.2.1. Elektrische Grundgrößen</b>			
<b>Elektrische Stromstärke</b>			
<i>E: Kraftwirkung zwischen stromdurchflossenen, parallelen Leitern</i>		→ Elektrischer Strom (LP 7, LP 9)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Internationale Festlegung der Einheit 1 A (Ampere)</li> </ul>		André-Marie Ampère (1775 – 1836)	
		MKSA-System, SI-System	
		Exkursion:	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>PTB (<a href="http://www.ptb.de">www.ptb.de</a>, Braunschweig)</li> </ul>	
<b>Elektrische Ladung</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrische Ladung: Veranschaulichung durch die Fläche unter dem I(t)-Graphen</li> </ul>		→ Sonderfall $Q = I \cdot t$ bei $I = \text{const.}$ (LP 9)	
Symbol: $Q = \int_{t_1}^{t_2} I(t) dt$		Integralbegriff steht noch nicht zur Verfügung	
[Q] = 1 As = 1 C (Coulomb)		Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806)	
<b>G: <math>I(t) = \dot{Q}(t)</math></b>			
<i>E: Demonstration folgender Eigenschaften der elektrischen Ladung mit dem Elektroskop: Mengencharakter, Kraftwirkung, Vorzeichencharakter, Influenzwirkung</i>		Arten von Ladungsträgern	
		☒(Chemie): Elektrolyse	
		☒(Biologie): Elektrische Signale in Nervenzellen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Quantitative Messung der Ladung</li> <li>Prinzip der Ladungserhaltung</li> </ul>			
<b>Elektrische Feldstärke</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Begriff Probeladung</li> </ul>			
<b>D:</b> Elektrisches Feld, elektrostatisches Feld, elektrische Feldlinie			
<i>E: Feldliniendarstellung zu homogenem Feld, radialsymmetrischem Feld und zum Feld zweier Punktladungen</i>		@ Visualisierung von Feldlinien mit geeigneter Software	
		☒(Chemie): Dipole	
<b>D:</b> Homogenes und inhomogenes elektrisches Feld		Leuchterscheinungen in der Atmosphäre: Elmsfeuer, Sprühentladung	

## Verbindliche Inhalte

## Vorschläge und Hinweise

- Eigenschaften elektrischer Feldlinien
- Faraday-Käfig
- Definition der elektrischen Feldstärke über die Kraftwirkung auf eine Probeladung
- Beschreibung eines Versuches zur Bestimmung der elektrischen Feldstärke

**D:** Elektrische Feldstärke:  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ ,

$$[E] = 1 \frac{N}{C}$$

**G:**  $\vec{F} = Q \cdot \vec{E}$  (Coulomb-Kraft)

- Vektorielle Addition elektrischer Feldgrößen
- Zusammenwirken von Coulomb-Kraft und Gravitationskraft

### Elektrische Spannung

- Zerlegung der Bewegung im elektrischen Feld in Teilbewegungen längs und quer zum Feld
- Berechnung der wegunabhängigen Arbeit  $W_{1,2}$  für den Transport einer positiven Ladung  $Q$  in einem homogenen Feld längs des Weges  $s_{1,2}$

**G:**  $W_{1,2} = F \cdot s_{1,2} \cdot \cos(\angle(\vec{F}, \vec{s})) = F \cdot d$  mit  
d: Komponente des Weges in Feldrichtung

**D:** Elektrische Spannung:  $U_{1,2} = \frac{W_{1,2}}{Q}$

$$[U] = 1 \frac{J}{C} = 1 \text{ V (Volt)}$$

**G:**  $W = Q \cdot U$

**G:** Homogenes Feld:  $U = E \cdot d$

$$[E] = 1 \frac{N}{C} = 1 \frac{V}{m}$$

Technik:  
Elektrische Abschirmung, Blitzschutz

Technik:  
Kopierer, Laserdrucker, elektrostatisches Lackieren, elektrostatische Filter

→ Analogie zur Gravitationskraft:  $\vec{F} = m \cdot \vec{g}$

→ Kraft als Vektor (LP 8)

Begriff des elektrischen Potentials

(Skalarprodukt steht noch nicht zur Verfügung)  
→ Hubarbeit (LP 8)

Spannungsmessung

Alessandro Volta (1745 – 1827)

Feld im Innern eines Plattenkondensators

Technik:  
Elektrokardiogramm und EEG, Piezoeffekt



Physik G-Kurs		1. Halbjahr der Hauptphase
1. FELDER		49 Stunden
Verbindliche Inhalte	Vorschläge und Hinweise	
<b>Elektrische Elementarladung</b>		
<p><b>E:</b> <i>Demonstration des Verhaltens geladener Öltröpfchen im Millikan-Kondensator</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Beschreibung des Millikan-Versuchs</li> <li>Quantelung freier elektrischer Ladungen</li> <li>Elementarladung <math>e</math></li> </ul>	<p>Robert Andrews Millikan (1868 – 1953), Nobelpreis 1923</p> <p>@ Simulation des Millikan-Versuches</p> <p>Beschränkung der Berechnungen auf den statischen Fall</p> <p>Entdeckung des Elektrons</p> <p>☒ (Chemie): Faraday-Konstante</p>	
<b>1.2.2. Kapazität und Energie des elektrischen Feldes</b>		
<p><b>E:</b> <i>Nachweis der Proportionalität von Ladung und Ladespannung beim Kondensator:</i> <math>Q \sim U</math></p> <p><b>D:</b> Kapazität: <math>C = \frac{Q}{U}</math>, <math>[C] = 1 \frac{C}{V} = 1F</math> (Farad)</p> <p><b>G:</b> <math>Q = C \cdot U</math> (Kondensatorgleichung)</p> <p><b>E:</b> <i>Abhängigkeit der Kapazität eines Plattenkondensators von der Geometrie</i></p> <p><b>G:</b> <math>C_0 = \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}</math> mit <math>\epsilon_0</math>: elektrische Feldkonstante (absolute Dielektrizitätskonstante)</p> <p><b>E:</b> <i>Bestimmung von <math>\epsilon_0</math></i></p> <p><b>E:</b> <i>Nachweis der Abhängigkeit der Kapazität von einem Dielektrikum</i></p> <p><b>G:</b> <math>C = \epsilon_r \cdot C_0</math> mit <math>\epsilon_r</math>: Dielektrizitätszahl (relative Dielektrizitätskonstante)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Größenordnungen von Kapazitäten und Dielektrizitätszahlen</li> </ul>	<p>Technik: Ausführung technischer Kondensatoren</p> <p>Michael Faraday (1791 – 1867)</p> <p>Plattenkondensator als Modell für atmosphärische Felder (Gewitter)</p> <p>Einsatz technischer Kondensatoren</p>	

## Verbindliche Inhalte

## Vorschläge und Hinweise

- Herleitung der Ersatzkapazitäten für:

- Parallelschaltung  $C_p = C_1 + C_2$

- Serienschaltung  $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

**G:** Energie des elektrischen Feldes:

$$W_{\text{el}} = \frac{1}{2}CU^2$$

### 1.2.3. Coulomb'sches Gesetz

**G:** Coulomb'sches Gesetz:

$$F_C = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \text{ mit } \vec{F}_C \parallel \vec{r}$$

**E:** Überprüfung der Ladungs- und Abstandsabhängigkeit

- Anwendungen:
  - Kräfteaddition bei mehreren Ladungen und einfacher Geometrie
  - statisches Pendel mit geladenen Kugeln

→ Parallel- und Serienschaltung von Widerständen (LP 9)

Kondensator als Speicher elektrischer Energie

Technik: Blitzgerät

Herleitung: Feldausschnitt am Kugelkondensator

→ Analogie zum Gravitationsgesetz (1.1)

Größenvergleich von Gravitationskraft und Coulomb-Kraft im atomaren Bereich

☞(Chemie): Ionenverbindungen

→ Kraft als Vektor (LP 8)

@ Dynamische Geometriesoftware

Physik G-Kurs		1. Halbjahr der Hauptphase	
1. FELDER		49 Stunden	
Verbindliche Inhalte		Vorschläge und Hinweise	
<b>1.3. MAGNETISCHES FELD</b>		<b>6 Stunden</b>	
<p><b>Grundlagen des Magnetismus</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnetische Feldlinien</li> <li>• Darstellung magnetischer Felder</li> <li>• Definition der Feldrichtung</li> <li>• Eigenschaften magnetischer Feldlinien</li> <li>• Regeln zur Richtungsabhängigkeit der Feldlinien von der Stromrichtung bei geradem Leiter und Spule</li> </ul>		<p>→ Magnetismus (LP 7)</p> <p>Erdmagnetfeld: Deklination, Inklination</p> <p>Technik: Elektromagnete, Festplatten, magnetische Datenspeicher, magnetische Flüssigkeiten</p> <p>☞(Erdkunde): Umkehrung der Richtung des Erdmagnetfeldes als geophysikalisches Phänomen</p> <p>☞(Biologie): Orientierung im Erdmagnetfeld</p>	
<p><b>Magnetische Flussdichte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld</li> </ul> <p><i>E: Zusammenhang zwischen Strom-, Feld- und Krafrichtung (Leiterschaukelversuch)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• UVW-Regel</li> </ul> <p><i>E: Nachweis der Proportionalität der Kraft zur Stromstärke und zur Leiterlänge für <math>\vec{I} \perp \vec{B}</math>: <math>F \sim I \cdot \ell</math></i></p> <p><b>D:</b> Magnetische Flussdichte:  <math display="block">B = \frac{F}{I \cdot \ell}, \text{ Richtung von } \vec{B},</math> <math display="block">[B] = 1 \frac{\text{N}}{\text{Am}} = 1\text{T (Tesla)}</math></p> <p><b>D:</b> Homogenes und inhomogenes magnetisches Feld</p> <p><b>G:</b> Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld: <math>F = I \cdot \ell \cdot B</math> für <math>\vec{I} \perp \vec{B}</math></p>		<p>→ Elektromagnetische Wechselwirkung (LP 9)</p> <p>→ Festlegung der Einheit 1 Ampere (1.2.1.)</p> <p>Experiment mit der Stromwaage</p> <p>Technik: Halleffekt</p> <p>→ Analogie zur Definition von Gravitations- und elektrischer Feldstärke (1.1.1., 1.2.1.)</p> <p>Nikola Tesla (1856 – 1943)</p> <p>Messung von B mit der Hallsonde</p> <p>→ Analogie zur Kraft im elektrischen Feld (1.2.1.)</p>	

Physik G-Kurs		1. Halbjahr der Hauptphase
1. FELDER		49 Stunden
Verbindliche Inhalte	Vorschläge und Hinweise	
<p><b>Homogenes Magnetfeld einer Spule</b></p> <p><i>E:</i> Abhängigkeit der magnetischen Flussdichte von der Stromstärke und den Spulendaten</p> <p><b>G:</b> <math>B_0 = \mu_0 \cdot \frac{n}{\ell} \cdot I</math></p> <p>mit <math>\frac{n}{\ell}</math>: Windungsdichte,  <math>\mu_0</math>: magnetische Feldkonstante (absolute Permeabilität)</p> <p><i>E:</i> Bestimmung von <math>\mu_0</math></p> <p><i>E:</i> Einfluss eines ferromagnetischen Materials auf B</p> <p><b>G:</b> <math>B = \mu_r \cdot B_0</math>  mit <math>\mu_r</math>: relative Permeabilität</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Größenordnung von <math>\mu_r</math> bei ferromagnetischen Materialien</li> </ul>	<p>Näherung für Spulen mit großer Länge im Vergleich zu ihrem Durchmesser</p> <p>Magnetisch weiche und harte Stoffe</p> <p>Hysterese</p> <p>Erzeugung starker Magnetfelder durch Supraleitung</p> <p>Technik:  Magnetfelder in medizinischen Geräten, Lautsprecher, Messinstrumente, Computertomographie</p>	
<p><b>1.4. BEWEGUNG VON LADUNGSTRÄGERN IN FELDERN</b></p>	<b>17 Stunden</b>	
<p><b>1.4.1. Ladungsträger im elektrischen Feld</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Erzeugung von freien Ladungsträgern</li> <li>Bewegung eines geladenen Teilchens im homogenen elektrischen Längsfeld <ul style="list-style-type: none"> <li>Bewegungsgesetze: <math>s(t)</math>, <math>v(t)</math>, <math>a(t)</math></li> <li>Energiebetrachtung</li> </ul> </li> </ul> <p><b>G:</b> <math>v = \sqrt{2 \frac{q}{m} U_B}</math></p> <p>mit <math>U_B</math>: Beschleunigungsspannung</p> <p><b>D:</b> Einheit 1 eV (Elektronenvolt)</p>	<p>Glühelektrischer Effekt, Feldemission, Ionisierung durch Gasentladung</p> <p>➔ Gleichmäßig beschleunigte Bewegung (LP EP), (Ableitungsbegriff steht inzwischen zur Verfügung)</p> <p>Gültigkeitsbereich der klassischen Mechanik  Faustregel: 2% Fehler bei 20% von c</p> <p>Bewegung im transversalen Feld</p> <p>Interpretation der Einheit 1 eV durch die Beschleunigungsspannung, Bedeutung in der modernen Physik</p>	

### 1.4.2. Ladungsträger im magnetischen Feld

- Zurückführung der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld auf die Lorentzkraft  $F_L$

**G:** Lorentzkraft:  $F_L = q \cdot v \cdot B$  für  $\vec{v} \perp \vec{B}$

- UVW-Regel für die Lorentzkraft

**E:** Ablenkung eines Elektronenstrahls im homogenen Magnetfeld bei Strahleintritt senkrecht zum Magnetfeld

- Aufbau und Funktionsweise des Fadenstrahlrohres
- Herleitung der Gleichungen zur Bestimmung von Radius und Umlaufzeit

**G:** Radius:  $r = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$

**G:** Umlaufzeit:  $T = 2\pi \frac{m}{q \cdot B}$

- Bestimmung von  $\frac{e}{m_e}$
- Bestimmung der Masse  $m_e$  des Elektrons

- Energiebeibehaltung für geladene Teilchen beim Durchlaufen eines Magnetfeldes

Herleitung von  $F_L$  aus  $F = I \cdot \ell \cdot B$  für  $\vec{I} \perp \vec{B}$

Hendrik Antoon Lorentz (1853 – 1928)

Demonstration der Ablenkung eines Elektronenstrahls durch ein Magnetfeld:

Sonderfälle:  $\vec{v} \perp \vec{B}$ ,  $\vec{v} \parallel \vec{B}$ , Schraubenlinie

☞(Erdkunde):

Schutzfunktion des Erdmagnetfeldes, Van-Allen-Gürtel, magnetische Flasche, Polarlicht

T unabhängig von der Geschwindigkeit v

→ Zyklotron (1.4.3.)

Elementarladung aus Millikanversuch (1.2.1.)

Technik:

MHD-Generator, magnetische Linsen, magnetischer Spiegel, magnetischer Einschluss, (Raster-)elektronenmikroskop

→ Beschleuniger (1.4.3.)

## Verbindliche Inhalte

## Vorschläge und Hinweise

## 1.4.3. Ladungsträger in kombinierten Feldern

**Geschwindigkeitsfilter**

- Prinzip des Geschwindigkeitsfilters

$$\mathbf{G}: v = \frac{E}{B}$$

**Massenspektrograph**

- Aufbau und Funktionsweise eines Massenspektrographen (Anordnung nach Bainbridge)

**Beschleuniger**

- Aufbau und Funktionsweise des Zyklotrons

## 1.4.4. Dynamische Masse

- Abhängigkeit der Masse von der Geschwindigkeit

**G:** Dynamische Masse:

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{mit } m_0: \text{ Ruhemasse}$$

- Graphische Darstellung von  $m(v)$

**G:** Einstein'sche Masse-Energie-Äquivalenz:

$$W(v) = m(v) \cdot c^2$$

**D:** Ruheenergie:  $W_0 = m_0 \cdot c^2$

**G:** Relativistische kinetische Energie:

$$W_{\text{kin}}(v) = W(v) - W_0 = \Delta mc^2$$

- Klass. Näherung für  $v \ll c$ :  $W_{\text{kin}} \approx \frac{1}{2} m_0 v^2$

@ Simulationsprogramme

➔ Kräftegleichgewicht (LP 8)

☒ (Biologie, Chemie):  
Analyse von (Isotopen-)Gemischen

Technik: Beschleunigertypen  
Vergleich Linear- und Ringbeschleuniger

Exkursionen:

- GSI ([www.gsi.de](http://www.gsi.de), Darmstadt)
- MPG ([www.ipp.mpg.de](http://www.ipp.mpg.de), Garching)
- DESY ([www.desy.de](http://www.desy.de), Hamburg)
- CERN ([www.cern.de](http://www.cern.de), Genf)

Relativistische Effekte (für Elektronen im Zyklotron schon bei geringer Zahl von Zyklen)

Messung der spezifischen Ladung von Elektronen von Kaufmann und Bucherer  
Walter Kaufmann (1871 – 1947)  
Alfred Heinrich Bucherer (1863 – 1927)

Albert Einstein (1879 – 1955)

Hinweis auf die Allgemeine Relativitätstheorie als Gravitationstheorie und ihre Bedeutung für Astrophysik und Kosmologie

Keine Herleitung

## 2.1. INDUKTIONSGESETZ

8 Stunden

**E:** Demonstration der Erscheinung der elektromagnetischen Induktion an verschiedenen Beispielen

- Spannungsstoß:  
Veranschaulichung durch die Fläche unter dem  $U_{\text{ind}}(t)$ -Graphen

$$\text{Symbol: } \int_{t_1}^{t_2} U_{\text{ind}}(t) dt$$

$$\left[ \int_{t_1}^{t_2} U_{\text{ind}}(t) dt \right] = 1 \text{Vs}$$

- Ursachen für das Zustandekommen eines Spannungsstoßes in einem Leiter:
  - Zeitliche Änderung der von einem konstanten Magnetfeld durchsetzten wirksamen Fläche, die von einem Leiter umschlossen wird
  - Zeitliche Änderung eines Magnetfeldes, das eine Leiterschleife durchsetzt

**D:** Flächenvektor  $\vec{A}$

**D:** Magnetischer Fluss für ein homogenes Magnetfeld:  $\Phi = B \cdot A \cdot \cos(\angle(\vec{B}, \vec{A}))$   
 $[\Phi] = 1 \text{Tm}^2 = 1 \text{Vs} = 1 \text{Wb}$  (Weber)

**G:** Induktionsgesetz:

- in integraler Form

$$\int_{t_{\text{anf}}}^{t_{\text{end}}} U_{\text{ind}}(t) dt = -n \cdot (\Phi_{\text{end}} - \Phi_{\text{anf}}) = -n \cdot \Delta\Phi$$

- in differentieller Form

$$U_{\text{ind}}(t) = -n \cdot \dot{\Phi}(t)$$

mit  $n$ : Windungszahl

- Herleitung der Sonderfälle:
  - Gleichförmiges Ziehen eines Leiters mit  $\vec{v} \perp \vec{B}$
  - Stromstärkeänderung in einer Feldspule mit Induktionsspule
  - Gleichförmiges Drehen einer Spule im homogenen Magnetfeld

**E:** Bestätigung des Induktionsgesetzes

Zeitliche Änderung von  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$  und  $\angle(\vec{B}, \vec{A})$

Nachweis mit einem Messwerterfassungssystem

Analogie Kraftstoß

Michael Faraday (1791 – 1867)  
Historische Versuche von Faraday

Exkursion:

- Faraday Museum (London)

→ Generator-, Transformatorprinzip (LP 9)

Wilhelm Weber (1804 – 1891)

Technik:

Mikrofon, Tachometer, FI, Induktionsherd, magnetische Datenspeicher, Tonabnehmer

Herleitung mittels der Lorentzkraft

Erzeugung von Wechselspannung, großtechnische Erzeugung elektrischer Energie

Werner von Siemens (1816 – 1892)  
Nikola Tesla (1856 – 1943)





Physik G-Kurs		2. Halbjahr der Hauptphase	
3. SCHWINGUNGEN UND WELLEN		39 Stunden	
Verbindliche Inhalte		Vorschläge und Hinweise	
<b>3.1. MECHANISCHE SCHWINGUNGEN</b>		<b>7 Stunden</b>	
<b>Beschreibung von Schwingungen</b>			
<i>E: Demonstration freier (gedämpfter) mechanischer Schwingungen</i>		Federpendel, Fadenpendel, Blattfeder, Stimmgabel, Uhrpendel, Schaukel, Wassersäule	
<b>D:</b> Schwingung als zeitlich periodische Bewegung um eine Gleichgewichtslage		Gedämpfte und ungedämpfte mechanische Schwingungen	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückstellkraft</li> <li>• Energieumwandlung bei einer Schwingung</li> <li>• Beschreibende Größen: Elongation, Amplitude, Frequenz, Schwingungsdauer (Periode)</li> </ul>		Technik: Teleskopfederung am Fahrrad, Schwingungsdämpfer am Auto  ☞ (Musik): akustische Schwingungen, Frequenzen der Tonleiter	
<b>Harmonische Schwingung</b>			
<i>E: Realisierung einer nahezu ungedämpften Federschwingung</i>		Aufzeichnung der Bewegungsgesetze mit einem Messwerterfassungssystem	
<b>D:</b> Harmonische mechanische Schwingung bei linearem Kraftgesetz		→ Hooke'sches Gesetz (LP 8) Anharmonische Schwingung bei nichtlinearem Kraftgesetz	
<b>G:</b> Spannenergie einer elastischen Feder:		→ Formen mechanischer Energie (LP 8) Veranschaulichung durch die Fläche unter dem F(s)-Graphen ( $W_{sp}$ steht Schülern aus dem sprachlichen Zweig nicht zur Verfügung)	
$W_{sp} = \frac{1}{2} Ds^2$			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energetische Deutung der Schwingung</li> </ul>		→ Energieerhaltung (LP 8)  Energiesatz in graphischer Darstellung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• DGL der harmonischen Federschwingung               <ul style="list-style-type: none"> <li>– Herleitung aus Kraft- und Energieansatz</li> <li>– Lösung der DGL</li> </ul> </li> </ul>		Synchronisation der Bewegung mit einem gleichförmig rotierenden Körper  Zeigerkonzept	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bewegungsgesetze: <math>s(t)</math>, <math>v(t)</math>, <math>a(t)</math></li> </ul>		@ Modellbildungs-, Computeralgebrasysteme	
<b>G:</b> Schwingungsdauer: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{D}}$		Fadenpendel	
<i>E: Bestätigung des Gesetzes für die Schwingungsdauer</i>		Technik: Zeitmessung	
		Exkursion: <ul style="list-style-type: none"> <li>• PTB (<a href="http://www.ptb.de">www.ptb.de</a>, Braunschweig)</li> </ul>	
		Nichtlineare Schwingungen, Chaostheorie	

Physik G-Kurs	2. Halbjahr der Hauptphase
3. SCHWINGUNGEN UND WELLEN	39 Stunden
Verbindliche Inhalte	Vorschläge und Hinweise
<p><b>Rückkopplung</b></p> <p><i>E: Erzeugung einer ungedämpften Schwingung durch Rückkopplung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prinzip der Rückkopplung</li> <li>• Phasenrichtige Energiezufuhr</li> </ul> <p><b>Resonanz</b></p> <p><i>E: Demonstration der Resonanz bei einer erzwungenen mechanischen Schwingung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übereinstimmung von Eigenfrequenz und Erregerfrequenz im Resonanzfall</li> </ul>	<p>☒(Erdkunde, Biologie, Politik, Mathematik): Rückkopplung als allgemeines Prinzip</p> <p>Demonstration akustischer Resonanzen, Pohl'sches Drehpendel</p> <p>Technik: Resonanzerscheinungen @ Film: „Tacoma Bridge“</p>
<p><b>3.2. MECHANISCHE WELLEN</b></p>	<p><b>12 Stunden</b></p>
<p><b>Entstehung und Ausbreitung von Wellen</b></p> <p><i>E: Demonstration von Seil- und Wasserwellen; Wellenmaschine als Modellsystem</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Charakterisierung der Welle als zeitlich und räumlich periodischer Vorgang</li> <li>• Energietransport ohne Materietransport</li> <li>• Transversal- und Longitudinalwellen</li> <li>• Polarisation von Transversalwellen</li> <li>• Herleitung der Grundgleichung der Wellenlehre</li> </ul> <p><b>G:</b> <math>v = \lambda \cdot f</math> mit <math>v</math>: Ausbreitungsgeschwindigkeit <math>\lambda</math>: Wellenlänge</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Größenordnung von Ausbreitungsgeschwindigkeiten</li> <li>• Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Materialien</li> <li>• Auslenkungsfunktion einer fortschreitenden linearen harmonischen Welle</li> </ul> <p><b>G:</b> <math>s(x, t) = s_m \cdot \sin\left(2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right)</math></p> <p><b>Überlagerung von Wellen</b></p> <p><i>E: Demonstration der Überlagerung von gegenläufigen Wellen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Superpositionsprinzip <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ungestörte gegenseitige Durchdringung</li> <li>– Lokale Addition der Elongationen</li> </ul> </li> </ul>	<p>☒(Erdkunde): Seismische Wellen, Entstehung von Tsunamis</p> <p>@ Simulationsprogramme, Videos</p> <p>Darstellung von Longitudinalwellen mittels „Federwurm“ bzw. Magnetrollenbahn</p> <p>Dopplereffekt Anwendung: Ultraschall in der Medizin (Sonografie), zerstörungsfreie Werkstoffprüfung</p> <p>Exkursion: • IZFP (<a href="http://www.izfp.fraunhofer.de">www.izfp.fraunhofer.de</a>, Saarbrücken)</p> <p>➔ Wurfbewegung (LP EP)</p>

Physik G-Kurs	2. Halbjahr der Hauptphase
3. SCHWINGUNGEN UND WELLEN	39 Stunden
Verbindliche Inhalte	Vorschläge und Hinweise
<p><b>E:</b> <i>Demonstration der Überlagerung von Wasserwellen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Entstehung von Interferenzmustern bei zwei Quellen mit gleicher Erregerfrequenz</li> <li>Interferenzbedingung</li> </ul> <p><b>G:</b> max. Verstärkung (konstruktive Interferenz):  <math>\Delta s = k \cdot \lambda, k \in \mathbb{N}</math></p> <p>max. Abschwächung (destruktive Interferenz):  <math>\Delta s = (2k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, k \in \mathbb{N}^*</math></p> <p>mit <math>\Delta s</math>: Gangunterschied</p> <p><b>Stehende Wellen</b></p> <p><b>E:</b> <i>Erzeugung einer stehenden Transversalwelle auf einem begrenzten Wellenträger</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Stehende Transversal- und Longitudinalwellen</li> </ul> <p><b>E:</b> <i>Demonstration von Grund- und Oberschwingungen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Eigenschaften stehender Wellen <ul style="list-style-type: none"> <li>Eigenschwingungen (Harmonische)</li> <li>Eigenfrequenzen bei festem (geschlossenem) und losem (offenem) Ende</li> </ul> </li> <li>Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit mittels stehender Wellen</li> </ul> <p><b>E:</b> <i>Erzeugung einer stehenden Schallwelle (Kundt'scher Versuch)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bestimmung der Schallgeschwindigkeit</li> </ul> <p><b>Huygens'sches Prinzip</b></p> <p><b>E:</b> <i>Demonstration der Reflexion, Brechung und Beugung von Wasserwellen</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Elementarwelle</li> <li>Deutung der Phänomene mit Hilfe des Huygens'schen Prinzips</li> </ul>	<p>Beschränkung auf gleichfrequente und gleichphasige Erreger</p> <p>Überlagerung von Wellen verschiedener Frequenz: Schwebung</p> <p>➔ Analogie Doppelspalt</p> <p>☞(Musik): Fourier-Synthese</p> <p>➔ Quantenphysik (4.5.)  Franz Melde (1832 – 1901)</p> <p>Schwingstab, Heulrohr</p> <p>Erzeugung von Grund- und Oberschwingungen auf einer langen Feder mit der Hand</p> <p>Chladni'sche Klangfiguren  Ernst Florenz Friedrich Chladni (1756 – 1826)</p> <p>☞(Musik): Musikinstrumente</p> <p>August Kundt (1815 – 1894)</p> <p>Rubens'sches Flammenrohr  Heinrich Rubens (1865 – 1922)</p> <p>➔ Reflexion (LP 7), Brechung (LP 9)</p> <p>Christian Huygens (1629 – 1695)  Keine Herleitung von Reflexionsgesetz und Brechungsgesetz</p>

Physik G-Kurs	3. Halbjahr der Hauptphase
3. SCHWINGUNGEN UND WELLEN	39 Stunden
Verbindliche Inhalte	Vorschläge und Hinweise
<p><b>3.3. ELEKTROMAGNETISCHE SCHWINGUNGEN</b></p> <p><i>E: Erzeugung einer freien gedämpften elektromagnetischen Schwingung am Schwingkreis aus Kondensator und Spule</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dämpfung der Schwingung</li> <li>• Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke</li> <li>• Energetische Deutung der Schwingung</li> <li>• Analogie zur mechanischen Schwingung</li> </ul> <p>• DGL des ungedämpften Schwingkreises  – Herleitung aus Energieansatz  – Lösung der DGL</p> <p><b>G:</b> Schwingungsdauer:  <math display="block">T = 2\pi\sqrt{LC}</math> (Thomson'sche Schwingungsgleichung)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückkopplung bei elektrischen Systemen</li> </ul> <p><i>E: Erzeugung entdämpfter niederfrequenter Schwingungen durch Rückkopplung</i></p> <p><i>E: Nachweis der Abhängigkeit der Frequenz von L und C</i></p>	<p style="text-align: right;"><b>7 Stunden</b></p> <p>Demonstration einer niederfrequenten Schwingung mit Zeigerinstrumenten</p> <p>Aufzeichnung von Spannung und Stromstärke mit einem Messwerterfassungssystem</p> <p>Verdeutlichung übergreifender Modellvorstellungen</p> <p>Technik:  Schwingkreise als Sensoren z.B. Induktionsschleifen im Straßenverkehr, elektronische Warenaussicherung</p> <p>➔ Analogie zur Schwingungsdauer des Federpendels (3.1.)</p> <p>William Thomson „Lord Kelvin“ (1824 – 1907)</p> <p>Nichtlineare elektromagnetische Schwingungen</p> <p>➔ Klingel (LP 7)</p> <p>☞(Erdkunde, Biologie, Politik, Mathematik):  Rückkopplung als allgemeines Prinzip</p> <p>Rückkopplungsschaltung mit Transistor</p> <p>Möglichkeiten der Erzeugung hochfrequenter elektromagnetischer Schwingungen</p>

<p><b>3.4. ELEKTROMAGNETISCHE WELLEN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hertz'scher Dipol als offener elektromagnetischer Schwingkreis</li> <li>• Verlauf von Stromstärke und Spannung am Dipol</li> </ul> <p><i>E: Überprüfung des Schwingungszustandes mit Glimmlampe (Spannung) und Glühlampe (Stromstärke)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resonanz bei einem Dipol</li> </ul> <p><i>E: Nachweis des Feldes in der Nähe des Dipols mit einem Resonanzkreis</i></p> <p><i>E: Empfangsdipol in unterschiedlicher Lage und Entfernung</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschreibung der abgestrahlten elektromagnetischen Welle</li> </ul> <p><i>E: Reflexion, Brechung, Beugung und Polarisation bei elektromagnetischen Wellen</i></p> <p><i>E: Nachweis von stehenden Wellen und Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit</i></p> <p><b>G:</b> <math>v = c</math> im Vakuum</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Informationsübertragung mittels elektromagnetischer Wellen</li> <li>• Beschreibung der Amplitudenmodulation</li> </ul>	<p style="text-align: right;"><b>6 Stunden</b></p> <p>Dipolschwingung als stehende elektromagnetische Welle          → Stehende Wellen (3.2.)</p> <p>Heinrich Hertz (1857 – 1894)          James Clerk Maxwell (1831 – 1879)</p> <p>Ineinandergreifen theoretischer und experimenteller Forschung am Beispiel der Arbeiten von Maxwell und Hertz</p> <p>Abtasten des Raumes um den schwingenden Dipol</p>   <p>Experimente mit Mikrowellen          → Analogie zu mechanischen Wellen (3.2.)</p>   <p>Technik:          Nachrichtentechnik, Radar, Mikrowellen, digitale Informationsübertragung</p>
---	---

<p><b>3.5. WELLENMODELL DES LICHTES</b></p> <p><b>Maxwell'sche Hypothese</b></p> <p><i>E: Demonstration der Beugung von Licht</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Licht als elektromagnetische Welle</li> <li>• Einstein'sches Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit, Lichtgeschwindigkeit als höchste Signalgeschwindigkeit</li> </ul> <p><b>Beugung am Gitter</b></p> <p><i>E: Demonstration der Beugung von Laserlicht an einem optischen Gitter</i></p> <p><b>D:</b> Gitterkonstante</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Herleitung der Bedingung für die Maxima beim Gitter</li> </ul> <p><b>G:</b> <math>\sin(\alpha_k) = \frac{k \cdot \lambda}{g}, k \in \mathbb{N}</math></p> <p style="padding-left: 20px;">mit g: Gitterkonstante, k: Ordnung, Symmetrieüberlegungen</p> <p><b>Spektren</b></p> <p><i>E: Darstellung eines kontinuierlichen Spektrums und eines Linienspektrums (Gitterspektrum)</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Wellenlänge mit Hilfe eines Gitters (auch für große Beugungswinkel)</li> <li>• Einordnung des sichtbaren Lichts, der UV- und der IR-Strahlung in das elektromagnetische Spektrum</li> </ul>	<p style="text-align: right;"><b>7 Stunden</b></p> <p>Beugung an Spalt, Doppelspalt und Gitter</p> <p>Messung der Lichtgeschwindigkeit nach Foucault und Michelson</p> <p>Jean Bernard Léon Foucault (1819 – 1868) Albert Abraham Michelson (1852 – 1931)</p> <p>Historische Verfahren zur Messung von c c als fundamentale Naturkonstante</p> <p>Einstein-Postulate</p> <p>Anschauliche Formulierung des Intensitätsbegriffes Experimente mit Laserpointern Sicherheitsrichtlinien</p> <p>Reflexionsgitter Experimente mit CD als Gitter</p> <p>Qualitativer Nachweis des Zusammenhangs mit der Wellenlänge mittels Laserpointern für rotes und grünes Licht</p> <p>➔ Vergleich mit Prismenspektrum (LP 9)</p> <p>Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichtes</p> <p>Kleinwinkelnäherung: <math>\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) \approx \alpha</math></p> <p>Anwendung: Spektralanalyse, Kristallstrukturanalyse</p> <p>Nachweis von UV- und IR-Strahlung Wirkung der UV- und der IR-Strahlung auf den menschlichen Körper</p>
---	---

Physik G-Kurs		3. Halbjahr der Hauptphase	
4. QUANTEN UND ATOME		40 Stunden	
Verbindliche Inhalte		Vorschläge und Hinweise	
<b>4.1. PHOTONENMODELL</b>		<b>10 Stunden</b>	
<b>Photoeffekt (lichtelektrischer Effekt)</b>			
<i>E: Demonstration des Photoeffektes (Hallwachs-Versuch)</i>		Hallwachs (1859 – 1922) Max Planck (1858 – 1947), Nobelpreis 1918 Albert Einstein (1879 – 1955), Nobelpreis 1921 Philipp Lenard (1862 – 1947)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Abhängigkeit des Photostroms, nicht der Photospannung von der Intensität des eingestrahlten Lichtes</li> <li>– Existenz einer materialabhängigen Grenzfrequenz</li> <li>– Trägheitsloses Einsetzen des Effektes</li> </ul>		Historie:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstein'sche Deutung des Photoeffekts</li> <li>• Lichtquantenhypothese</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• M. Planck (1900): Quantelung der Energie der Oszillatoren,</li> <li>• P. Lenard (1902): Abhängigkeit der Energie der Photoelektronen von der Farbe des Lichts,</li> <li>• Einstein (1905): Quantisierung der Strahlung</li> </ul>	
<b>D:</b> Photon: Energiequant der Größe $W_{Ph} = h \cdot f$		Prinzip der Quantelung in der Mikrophysik	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energiebilanz beim Photoeffekt</li> </ul>			
<b>G:</b> $W_{Ph} = W_{kin} + W_A$ mit $W_A$ : Austrittsarbeit			
<i>E: Abhängigkeit der Photospannung von der Frequenz des Lichts</i>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prinzip der Gegenfeldmethode</li> </ul>			
<b>G:</b> $h \cdot f = e \cdot U + W_A$			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Graphische Darstellung von <math>W_{kin,max}(f)</math> bzw. <math>U(f)</math></li> <li>• Planck'sche Konstante <math>h</math> als universelle Naturkonstante, <math>[h] = 1 \text{ Js (Wirkung)}</math></li> <li>• Absorption und Emission in Form von Energiequanten der Größe <math>h \cdot f</math></li> </ul>		h-Bestimmung mit Leuchtdioden	
<b>Erzeugung von Röntgenstrahlung</b>		Laserlicht, Leuchtdioden, Photodioden, Solarzellen, Prinzip des Photomultipliers	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbau und Funktion einer Röntgenröhre</li> <li>• Nachweismittel für Röntgenstrahlung</li> <li>• Einordnung der Röntgenstrahlung in das elektromagnetische Spektrum</li> <li>• Anwendung der Röntgenstrahlung</li> </ul>		Wilhelm Conrad Röntgen (1845 – 1923), Nobelpreis 1901 Strahlenschutz Röntgenstrahlung in der Astronomie	
		Anwendung:	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• in Naturwissenschaft und Technik: Strukturuntersuchung, Werkstoffprüfung</li> <li>• in der Medizin: Diagnostik (Durchleuchten, Röntgenbild, Computertomographie) und Therapie</li> </ul>	

Physik G-Kurs		3. Halbjahr der Hauptphase	
4. QUANTEN UND ATOME		40 Stunden	
Verbindliche Inhalte		Vorschläge und Hinweise	
<p><b>Spektrum der Röntgenstrahlung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Röntgenbremsstrahlung <ul style="list-style-type: none"> <li>Entstehung</li> <li>Deutung der kurzwelligen Grenze des kontinuierlichen Röntgenbremsspektrums mit dem Photonenmodell</li> <li>Berechnung der kurzwelligen Grenze</li> </ul> </li> </ul> <p><b>G:</b> <math>\lambda_{\min} = \frac{h \cdot c}{e \cdot U}</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Charakteristische Röntgenstrahlung <ul style="list-style-type: none"> <li>Entstehung</li> <li>Auftreten materialabhängiger charakteristischer Spektrallinien im Röntgenbereich</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Beugung von Röntgenstrahlung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Beschreibung der Beugung von Röntgenstrahlung an Kristallgittern (Laue-Diagramme)</li> <li>Deutung der Beugung mit Hilfe der Bragg-Reflexion</li> </ul> <p><b>G:</b> Bragg-Bedingung:  <math>2d \cdot \sin(\alpha_k) = k \cdot \lambda, \quad k \in \mathbb{N}^*</math>  mit <math>d</math>: Netzebenenabstand,  <math>\alpha_k</math>: Glanzwinkel</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Wellenlängenbestimmung von Röntgenstrahlung</li> </ul>		<p>Max von Laue (1879 – 1960), Nobelpreis 1914</p> <p>William Henry Bragg (1862 – 1942), William Lawrence Bragg (1890 – 1971), Nobelpreis 1915</p> <p>→ Elektronenbeugung (4.3.)</p> <p>Anwendung: Kristallstrukturanalyse</p>	
<p><b>4.2. KORPUSKULARE EIGENSCHAFTEN VON PHOTONEN</b></p> <p><b>Masse und Impuls des Photons</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Herleitung der Formeln für Masse und Impuls des Photons</li> </ul> <p><b>G:</b> Photonenmasse: <math>m_{\text{Ph}} = \frac{h \cdot f}{c^2}</math></p> <p>Photonenimpuls: <math>p_{\text{Ph}} = \frac{h \cdot f}{c} = \frac{h}{\lambda}</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Quantenobjekte mit und ohne Ruhemasse</li> </ul>		<p>4 Stunden</p> <p>Compton-Effekt</p> <p>Einfluss des Gravitationsfeldes auf Licht: Gravitationsfrequenzverschiebung, Versuch von Pound und Rebka (1960)</p> <p>Strahlungsdruck, Sonnensegel als Antrieb von Raumfahrzeugen</p>	



Physik G-Kurs		3. Halbjahr der Hauptphase	
4. QUANTEN UND ATOME		40 Stunden	
Verbindliche Inhalte		Vorschläge und Hinweise	
<p><b>Paarerzeugung und Paarvernichtung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beschreibung der Paarerzeugung (Elektron-Positron-Paar)</li> <li>• Mindestenergie: <math>h \cdot f_{\min} = 2m_e c^2 (\approx 1\text{MeV})</math></li> <li>• Interpretation von Nebelkammeraufnahmen</li> <li>• Beschreibung der Paarvernichtung (Zerstrahlung)</li> <li>• Erhaltung von Ladung, Energie und Impuls bei Paarerzeugung und -vernichtung</li> </ul>		<p>Paarerzeugung im Feld eines Atomkerns und im Feld eines Hüllenelektrons (Triplettbildung)</p> <p>Materie und Antimaterie</p> <p>Anwendung in der Medizin: Positronen-Emissions-Tomographie</p>	
<p><b>4.3. WELLENEIGENSCHAFTEN VON ELEKTRONEN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiewellen</li> <li>• Hypothese von de Broglie: <math>\lambda = \frac{h}{p}</math> mit <math>\lambda</math>: de Broglie-Wellenlänge</li> </ul> <p><b>G:</b> <math>\lambda = \frac{h}{\sqrt{2qmU}}</math> (klassisch)</p> <p>mit U: Beschleunigungsspannung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nachweis der Beugungserscheinungen von Materiewellen durch Bragg-Reflexion an Kristallen</li> </ul>		<p style="text-align: right;"><b>3 Stunden</b></p> <p>Louis-Victor de Broglie (1892 – 1987), Nobelpreis 1929</p> <p>Originaltext von L. de Broglie: Ondes corpuscules mécanique ondulatoire, Science d'aujourd'hui, Collection dirigée par André George, Éditions Albin Michel, 82-83 und 98-100, Paris (1945)</p> <p>Beschränkung auf den klassischen Fall</p> <p>➔ Analogie zur Beugung von Röntgenstrahlung (4.1.)</p> <p>Vergleichbarkeit der de Broglie-Wellenlänge für Elektronen (<math>eU \approx 5000 \text{ eV}</math>) mit der Gitterkonstanten von Kristallen</p> <p>Anwendungen: Kristallstrukturanalyse, Elektronenmikroskop</p> <p>„Nachweis“ der gebeugten Elektronen mittels eines Magneten</p> <p>Versuch von Davisson und Germer Originaltext von C. Davisson and L.H. Germer: Diffraction of electrons by a crystal of nickel, The Physical Review 30, 705 (1927)</p> <p>Exkursion:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachbereich Physik der Universität des Saarlandes (<a href="http://www.uni-saarland.de">www.uni-saarland.de</a>, Saarbrücken)</li> </ul>	
<p><b>E: Beugung von Elektronen an Graphit</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Bestimmung der de Broglie-Wellenlänge von Elektronen</li> <li>– Bestätigung der Hypothese von de Broglie</li> </ul>			

Physik G-Kurs		4. Halbjahr der Hauptphase	
4. QUANTEN UND ATOME		40 Stunden	
Verbindliche Inhalte		Vorschläge und Hinweise	
<b>4.4. WAHRSCHEINLICHKEITSDEUTUNG</b>		<b>3 Stunden</b>	
<b>Wahrscheinlichkeitsverhalten von Quantenobjekten</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Beschreibung des Doppelspaltexperimentes: <ul style="list-style-type: none"> <li>mit Licht reduzierter Intensität (Experiment von Taylor, 1910)</li> <li>mit Elektronen (Experiment von Jönsson, 1961)</li> </ul> </li> <li>Registrierung einzeln auftreffender Objekte</li> <li>Entstehung der klassischen Beugungsfigur</li> <li>Wahrscheinlichkeitsdeutung der Intensität</li> </ul>		<p>@ Simulationsprogramme</p> <p>Geoffrey Ingram Taylor (1886 – 1975) Claus Jönsson (1930 – )</p> <p>Originaltext von G. I. Taylor: Interference fringes with feeble light, Proceedings of the Cambridge Philosophical Society XV, 114-115 (1910)</p> <p>Originaltext von C. Jönsson: Elektroneninterferenzen an mehreren künstlich hergestellten Feinspalten, Zeitschrift für Physik 161, 454 ff. (1961)</p>	
<b>Heisenberg'sche Unbestimmtheitsrelation</b>			
<p><b>G:</b> <math>\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{4\pi}</math></p>		<p>Werner Heisenberg (1901 – 1976), Nobelpreis 1932</p> <p>Keine qualitative Herleitung (Beugung am Spalt steht nicht zur Verfügung)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Interpretation der Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation</li> <li>Erweiterung:</li> </ul>		<p>Originaltext von W. Heisenberg: Physikalische Prinzipien der Quantentheorie, B.I.-Hochschultaschenbücher, Bibliographisches Institut, Hochschultaschenbücher-Verlag, Band 1, 17ff, Mannheim (1958)</p>	
$\Delta W \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi} \quad \text{und} \quad \Delta f \cdot \Delta t \geq \frac{1}{4\pi}$			

<p><b>4.5. KERN-HÜLLEN-MODELL DES ATOMS</b></p> <p><b>Rutherford'sches Atommodell</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Historische Entwicklung der Atommodelle (Dalton, Thomson)</li> <li>• Rutherford'scher Streuversuch             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Beschreibung des Prinzips</li> <li>– Ergebnisse und Folgerungen</li> </ul> </li> <li>• Rutherford'sches Atommodell</li> </ul> <p><b>Quantenhafte Emission und Absorption</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Anregung von Atomen</li> <li>• Emissionsspektren             <p><i>E: Erzeugung von Linienspektren</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Emission charakteristischer Energiequanten</li> </ul> </li> <li>• Absorptionsspektren             <p><i>E: Umkehr der Natrium-Linie</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Resonanzabsorption</li> <li>– Emission und Absorption von Licht gleicher charakteristischer Frequenz</li> </ul> </li> <li>• Stoßanregung             <p><i>E: Versuch von Franck und Hertz</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Emission und Absorption charakteristischer Energiequanten durch die Hüllenelektronen des Atoms</li> <li>– Existenz diskreter Energiezustände im Atom</li> </ul> </li> </ul>	<p style="text-align: right;"><b>10 Stunden</b></p> <p>Atommodelle in der Antike</p> <p>Modellbildung in der Physik</p> <p>Ernest Rutherford (1871 – 1937)</p> <p>@ Simulation zur Ablenkung im Coulomb-Potential</p> <p>Rutherford'scher Streuversuch als Muster für Streuexperimente in der Hochenergiephysik</p> <p>Originaltext von E. Rutherford: The Scattering of <math>\alpha</math> and <math>\beta</math> Particles by Matter and the Structure of the Atom, Philosophical Magazine 21, 669ff (1911)</p> <p>Lenard'scher Fensterversuch</p> <p>Abschätzung des Atomdurchmessers</p> <p>Laser, stimulierte Emission</p> <p>Spektrum der Natrium-Dampflampe</p> <p>Joseph von Fraunhofer (1787 – 1826)</p> <p>Fraunhofer-Linien im Sonnenspektrum, Entdeckung von Helium</p> <p>„Franck-Hertz-Versuch“ mit Neon</p> <p>James Franck (1882 – 1964), Gustav Hertz (1887 – 1975), Nobelpreis 1925</p>
---	--

**Bohr'sches Atommodell**

- Bohr'sche Postulate
  - Quantelung des Bohr'schen Radius  $r_n$ :  

$$2\pi r_n = n \cdot \lambda_n, \quad n \in \mathbb{N}^* \text{ mit } n: \text{Quantenzahl}$$
  - Bohr'sche Frequenzbedingung:  

$$\Delta W_{m,n} = W_m - W_n = h \cdot f_{m,n}$$

## • Anwendung auf das H-Atom

- Bahnradius:  $r_n \sim n^2$
- Gesamtenergie:  $W_n = -W_{1,\infty} \cdot \frac{1}{n^2}$   
 mit  $W_{1,\infty} = h \cdot f_R = 13,6 \text{ eV}$   
 (Ionisierungsenergie)
- Serienformel des H-Atoms

**G:**  $f_{m,n} = f_R \cdot \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$  mit  $m, n \in \mathbb{N}^*, m > n$   
 und  $f_R = \frac{W_{1,\infty}}{h}$  (Rydbergfrequenz)

- Termschema
  - kurzwellige Seriengrenze
  - H-Serien  
 (Lyman, Balmer, Paschen, Brackett, Pfundt)
- Bohr'sches Atommodell als historischer Zwischenschritt zur Beschreibung der Physik der Atomhülle

Niels Bohr (1885 – 1962), Nobelpreis 1922

Keine explizite Herleitung  
(Potentielle Energie im Radialfeld steht nicht zur Verfügung)

☞(Chemie): Ionisierung

➔ Charakteristische Röntgenstrahlung (4.1.),  
Moseley'sches Gesetz,  
Henry Moseley (1887 – 1915)

Wasserstoffähnliche Atome

Arnold Sommerfeld (1868 – 1951)  
Wolfgang Pauli (1900 – 1958)

Weitere Quantenzahlen

Pauli-Prinzip

☞(Chemie): Periodensystem

**Potentialtopfmodell**

- Modell eines Teilchens im linearen Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden
- Beschreibung der stationären Zustände durch Materiewellen

$$\text{G: } \lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n}, \quad n \in \mathbb{N}^*$$

mit L: Länge des Potentialtopfs,  
n: Quantenzahl

- Diskrete Energiewerte der Lokalisationsenergie im Potentialtopf

$$\text{G: } W_n = \frac{h^2}{8mL^2} \cdot n^2$$

mit m: Teilchenmasse

$$\text{D: Nullpunktsenergie: } W_1 = \frac{h^2}{8mL^2}$$

- Kettenförmige Farbstoffmoleküle als Beispiel

**G:** Frequenz des absorbierten Lichtes:

$$f_{m,n} = \frac{h}{8m_e L^2} \cdot (m^2 - n^2) \quad \text{mit } m > n$$

mit  $m_e$ : Elektronenmasse

- Quantenmechanisches Modell als Erweiterung auf drei Dimensionen

→ Stehende Wellen (3.2., 3.4.)

Experimentelle Bestätigung  
z.B. an einem Methinfarbstoff

@ Modellbildungssysteme, Simulationsprogramme

☒ (Chemie): Orbitalmodell

Exakte quantenmechanische Beschreibung durch Verfeinerung des Modells mit Hilfe der Schrödinger-Gleichung

<p><b>4.6. KERNPHYSIK UND RADIOAKTIVITÄT</b></p> <p><b>Aufbau des Atomkerns und Kernbindungsenergie</b></p> <p>Begriffe: Nukleon, Proton, Neutron, Nuklid, Isotop</p> <p><b>G:</b> <math>A = Z + N</math> mit     A: Massenzahl,                                   Z: Ordnungszahl,                                   N: Neutronenzahl</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nuklidbezeichnung: <math>{}^A_Z X</math> Vereinfachte Schreibweise: z. B. U238</li> <li>• Nuklidkarte</li> <li>• Kernkraft, Kernbindungsenergie</li> </ul> <p><b>D:</b> Atomare Masseneinheit 1 u, relative Atommasse <math>A_r</math></p> <p><b>G:</b> Kernbindungsenergie: <math>\Delta W = \Delta m \cdot c^2</math> mit <math>\Delta m</math>: Massendefekt</p> <p><b>D:</b> Mittlere Kernbindungsenergie pro Nukleon</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagramm zur mittleren Kernbindungsenergie pro Nukleon</li> <li>• Kernreaktionsgleichungen</li> <li>• Energiegewinnung durch Spaltung schwerer bzw. Fusion leichter Kerne</li> </ul>	<p style="text-align: right;"><b>10 Stunden</b></p> <p>➔ Atome und Atomkerne (LP EP) ☞(Chemie): Elemente</p> <p>Moderne Vorstellung vom Aufbau der Materie: Elementarteilchen, Quarkmodell</p> <p>Karlsruher Nuklidkarte</p> <p>Stabilität der Kerne auf Grund der starken Wechselwirkung Vergleich von Kernkraft und Coulomb-Kraft</p> <p>Tröpfchenmodell des Atomkerns, heuristische Bindungsenergieformel von F. v. Weizsäcker</p> <p>Bethe-Weizsäcker-Zyklus zur Beschreibung der energetischen Prozesse in der Sonne</p> <p>Carl Friedrich von Weizsäcker (1912 – 2007) Hans Albrecht Bethe (1906 – 2005)</p> <p>Otto Hahn (1879 – 1968), Nobelpreis 1944 Lise Meitner (1878 – 1968) Fritz Straßmann (1902 – 1980)</p> <p>Vergleich der Energiebeträge mit den Heizwerten fossiler Brennstoffe</p> <p>Exkursion:  <ul style="list-style-type: none"> <li>• MPG (<a href="http://www.ipp.mpg.de">www.ipp.mpg.de</a>, Garching)</li> </ul> </p>
---	--

**Kernstrahlung und Kernzerfall**

- Zerfall als stochastischer Prozess

**E:** Demonstration der Strahlungsmessung mit dem Geiger-Müller-Zählrohr

- Charakterisierung der Strahlungsarten  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung
- Zerfallsreaktionsgleichungen
- natürliche Zerfallsreihen

**Zerfallsgesetz**

- DGL des radioaktiven Zerfalls

**G:**  $\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda \cdot N(t)$  mit  $\lambda$ : Zerfallskonstante

- Lösung der DGL

**G:** Zerfallsgesetz:  $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$

**D:** Halbwertszeit  $t_H$

- Herleitung des Zusammenhangs:  $t_H = \frac{\ln(2)}{\lambda}$

**D:** Aktivität:  $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda \cdot N(t)$ ,

$$[A] = 1 \frac{1}{s} = 1 \text{ Bq (Becquerel)}$$

**E:** Zerfallskurve eines radioaktiven Präparats

- Zusammenhang zwischen der Anzahl der Kerne und der Masse der Substanz

$$\frac{N(t)}{N_A} = \frac{m(t)}{M_{\text{mol}}}$$

mit  $N_A$ : Avogadro-Konstante,  
 $M_{\text{mol}}$ : molare Masse

- Anwendung:  
C14-Methode zur Altersbestimmung

➔ Radioaktivität (LP EP)

☞(Mathematik): Stochastische Prozesse  
Tunneleffekt als Ursache

Strahlenschutz

Pierre Curie (1859 – 1906),  
Marie Curie (1867 – 1934),  
Antoine Henri Becquerel (1852 – 1908),  
Nobelpreis 1903

Originaltext von P. Curie und M. Curie:  
Sur les corps radioactifs, Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des françaises, 85ff, Paris (1902)

☞(Mathematik):  
Wachstums- und Zerfallsprozesse

@ Modellbildungssysteme

Mutter-Tochter-Systeme

Radioaktives Gleichgewicht

☞(Geschichte, Erdkunde): Datierungsmethoden  
Uran-Blei-Methode

Rückblick und Zusammenfassung:  
Die vier Wechselwirkungen: Gravitation,  
elektromagnetische Wechselwirkung,  
starke und schwache Wechselwirkung.