

# Physik



**Handreichung zum Bildungsplan  
für das Gymnasium  
- Qualifikationsphase -**

Erarbeitet von

Horst Schecker, Jörn Gerdes, Erik Einhaus,  
Michael Dörfler, Christoph Kulgemeyer

Herausgegeben vom  
Landesinstitut für Schule, Am Weidedamm 20, 28215 Bremen

2008

Ansprechpartner:  
Abteilung 2, Qualitätssicherung und Innovationsförderung: Wolfgang Löwer

## Inhaltsverzeichnis

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| <b>1.</b> | Zur Konzeption des Bildungsganges                          | 4  |
| 1.1       | Struktur   | 4  |
| 1.2       | Abschätzung der Unterrichtszeit                            | 5  |
| <b>2.</b> | Bausteine  | 6  |
| 2.1       | Themenbezogene Kernbausteine mit Inhalten und Kompetenzen  | 6  |
| 2.2       | Themenübergreifende fachmethodische Kompetenzen            | 17 |
| <b>3.</b> | Hinweise zu einzelnen Bausteinen                           | 19 |
| 3.1       | Umsetzung des Kernbausteins „Hauptsätze der Thermodynamik“ | 19 |
| <b>4.</b> | Beispielhafte Bausteinfoolgen (Sequenzierungen)            | 20 |
| 4.1       | Aufbau eines Grundkurses - Beispiel                        | 21 |
| 4.2       | Aufbau eines Leistungskurses - Beispiel                    | 22 |

# 1. Zur Konzeption des Bildungsplans

## 1.1 Struktur

### ***Kernbausteine und Erweiterungsbausteine***

Der Bildungsplan für die Qualifikationsphase im Fach Physik für das Land Bremen ist modular aufgebaut. Er beschreibt in verpflichtenden *Kernbausteinen* (10 für den Leistungskurs, 7 für den Grundkurs) und wählbaren Erweiterungsbausteinen die Themen und Inhalte, an denen die fachlichen und fachmethodischen Kompetenzen erworben werden sollen. Der Unterricht ist so zu gestalten, dass die Behandlung der Kernbausteine zusammen mit den ausgewählten Zugangswegen, Anwendungsgebieten, Fortführungen und Vertiefungen eine inhaltliche Einheit darstellt. Hierdurch ist sicher zu stellen, dass über die Zeit der Qualifikationsphase die Standards erreicht werden.

### ***Schuleigenes Curriculum***

Die *Fachkonferenz* legt für den Leistungskurs und für den Grundkurs fest, welche Erweiterungsbausteine mit den dort zu unterrichtenden Kernbausteinen verbunden werden. Dabei soll dem höheren fachinhaltlichen Anspruch und der größeren theoretischen Orientierung im Leistungskurs Rechnung getragen werden. Unter Sicherstellung einer angemessenen inhaltlichen Breite sind für den Leistungskurs mindestens 12 und für den Grundkurs mindestens 4 Erweiterungsbausteine festzulegen. Die Auswahl und Ausgestaltung dieser Zugänge, Anwendungen und Vertiefungen ermöglicht Schwerpunktsetzungen der jeweiligen Schule, z.B. im Bereich technischer Anwendungen, lebensweltbezogener Themen oder theoretisch vertiefter Betrachtungen. Die Fachkonferenz kann eigene Erweiterungsbausteine formulieren und in der Kursplanung berücksichtigen. Die in dieser Handreichung vorgenommene Auflistung der Kernbausteine stellt dabei ausdrücklich keine Vorgabe für die Reihenfolge der Behandlung im Unterricht dar. In dieser Handreichung zum Bildungsplan werden Vorschläge für Sequenzierungen gemacht.

### ***Grundkurse und Leistungskurse***

Die Differenzierung zwischen Grund- und Leistungskursen geschieht durch

- die unterschiedliche Anzahl der obligatorischen Kernbausteine,
- kursartspezifische Bausteine zu ausgewählten Themengebieten,
- Beschluss der Fachkonferenz über die Auswahl von Erweiterungsbausteinen, ggf. einschließlich der Formulierung schuleigener Erweiterungsbausteine.

Durch die Auswahl der Erweiterungsbausteine setzt die Fachkonferenz unterschiedliche Schwerpunkte für den Grund- bzw. Leistungskurs. Bei der Auswahl und Ausgestaltung des Unterrichts im Leistungskurs soll dem höheren fachinhaltlichen Anspruch und der größeren theoretischen Orientierung im Leistungskurs Rechnung getragen werden.

### ***Zentralabitur***

Für die am Ende der Qualifikationsphase anstehende zentrale Prüfung werden rechtzeitig vor Beginn des jeweiligen Durchgangs Schwerpunktthemen benannt. Schwerpunktthemen werden durch Benennung von Kernbausteinen und Erweiterungsbausteinen konkretisiert.

## 1.2 Abschätzung der Unterrichtszeit

Dem Bildungsplan Physik liegt eine Abschätzung der in der Qualifikationsphase real zur Verfügung stehenden Unterrichtszeit zugrunde.

Die reale Unterrichtszeit soll zur Behandlung

- der obligatorischen Kernbausteine,
- der Erweiterungsbausteine und
- der vertieften Behandlung der Schwerpunktthemen für die Abiturprüfung

genutzt werden.

Eine Übersicht über die Abschätzung der Unterrichtszeit sowie der groben Aufteilung des zur Verfügung stehenden Stundenvolumens auf die Behandlung der Kern- und Erweiterungsbausteine sowie die vertiefte Behandlung der Schwerpunktthemen ist in Tabelle 1 dargestellt.

|  | <b>LK</b>           | <b>GK</b>       |
|--|---------------------|-----------------|
| Unterrichtswochen in der Qualifikationsphase insgesamt   | 39 + 28 = 67 Wochen |                 |
| Wochenstunden  | 5 Std./Wo.          | 3 Std./Wo.      |
| Unterrichtsstunden in der Qualifikationsphase  | 335 Std.            | 201 Std.        |
| Nicht verfügbare Stunden:  |                     |                 |
| - Klausuren Physik (insgesamt 7 Wochen)  | - 35 Std.           | - 21 Std.       |
| - Klausuren anderer Fächer, Schulveranstaltungen etc. (ca. 12 Wochen)  | - 60 Std.           | - 36 Std.       |
| <b>Verfügbare Unterrichtszeit</b>  | <b>240 Std.</b>     | <b>144 Std.</b> |
| - für die Behandlung der obligatorische Kernbausteine (10 im LK, 7 im GK á 12 Std.)  | 120 Std.            | 84 Std.         |
| - für die Behandlung der Erweiterungsbausteine (Annahme: 12 im LK, 4 im GK á 6 Std.)   | 72 Std.             | 24 Std.         |
| - für die vertiefte Behandlung der Schwerpunktthemen (z. B. durch weitere, auf die Schwerpunktthemen bezogene Erweiterungsbausteine) | 48 Std.             | 36 Std.         |

Tabelle 1

Die verfügbare Unterrichtszeit entspricht nach dieser Abschätzung etwa 70 % der gesamten Unterrichtszeit in der Qualifikationsphase.

## 2. Bausteine

### 2.1 Themenbezogene Kernbausteine mit Inhalten und Kompetenzen

Kernbausteine sind inhaltlich hoch verdichtet und umfassen *Grundkenntnisse, Grundfähigkeiten und Überblickwissen*. Ihre Behandlung erfordert eine strenge Zeitdisziplin. Für jeden Kernbaustein werden verschiedene *Erweiterungsbausteine* mit Zugangswegen, Fortführungen, Vertiefungen und Anwendungsgebieten angegeben. In dieser Handreichung werden die Vertiefungsbausteine inhaltlich beispielhaft aufgeschlüsselt.

| Themenbezogene Kernbausteine   |   |
|--|---|
| Leistungskurs  | Grundkurs   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanische Schwingungen</li> <li>• Hauptsätze der Thermodynamik</li> <li>• Elektrisches Feld</li> <li>• Magnetisches Feld</li> <li>• Elektromagnetische Schwingungen</li> <li>• Wellenoptik</li> <li>• Mikroobjekte</li> <li>• Quantenphysik der Atomhülle</li> <li>• Struktur der Materie</li> <li>• Spezielle Relativitätstheorie</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mechanische Schwingungen</li> <li>• Hauptsätze der Thermodynamik</li> <li>• Grundlagen elektrischer und magnetischer Felder</li> <li>• Wellenoptik</li> <li>• Mikroobjekte</li> <li>• Quantenphysik der Atomhülle</li> <li>• Struktur der Materie</li> </ul> |

Übersicht über die Kernbausteine

### Mechanische Schwingungen (LK, GK)

#### Sachinhalte

- Grundphänomene periodischer Bewegungsabläufe
- Beschreibende Größen Amplitude, Frequenz, Periodendauer, Elongation
- Bewegungsgleichung und Bewegungsgesetze des harmonischen Oszillators
- Grundphänomene der erzwungenen Schwingung, Dämpfung und Resonanz
- Stehende Wellen

#### Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben periodische Bewegungsabläufe mit den Größen Amplitude, Frequenz und Periodendauer
- planen Experimente zu Schwingungsvorgängen und führen diese durch
- vergleichen harmonische und nicht-harmonische Schwingungsvorgänge
- beschreiben harmonische Schwingungen mit Hilfe der Sinusfunktion (ohne Dämpfung)
- beschreiben Schwingungsvorgänge aus Alltag und Technik
- berechnen die Periodendauer für das Feder-Masse-Pendel
- beschreiben quasi-stationäre Eigenschwingungszustände als stehende Wellen

*Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Computergestützte Modellbildung zu mechanischen Schwingungen* [z. B. Einführung in computergestützte Modellbildung; Wirkungsgefüge des harmonischen Schwingers; Untersuchung spezieller Fälle (gedämpfte Schwingungen, erzwungene Schwingungen)]
- *Chaotische Schwingungen* [z. B. Schwingungen als Beispiele für Chaosphänomene; Vorhersagbarkeit; Kausalität, Determinismus; Fraktale, Strukturen im Chaos]
- *Gedämpfte und erzwungene Schwingungen, Resonanz* (Vertiefung) [z. B. freie gedämpfte Schwingungen; erzwungene Schwingungen; Resonanz; gekoppelte Schwingungen]
- *Mechanische Wellen* [z. B. Beschreibende Größen harmonischer Wellen; Longitudinal-, Transversalwellen; Energietransport durch Wellen; Stehende Wellen als Überlagerung fortschreitender Wellen; Dopplereffekt]
- *Akustik* [z. B. Schallphänomene, Schallwellen (Beugung); Schalldruckkurven (Schwingungskurven); Frequenzspektren; Schallintensität, Lautstärke; Schallwahrnehmung, Lärmschutz]

*Hinweise*

Die Inhalte des Kernbausteins sollen eng mit Fachmethoden verbunden werden:

- Erfassung und Auswertung von Messdaten (auch computergestützt); verschiedene Verfahren der Registrierung
- Mathematische Modellierung

Die Hinführung zur Bewegungsgleichung (Differentialgleichung) kann über die ungedämpfte Federschwingung erfolgen:  $m \cdot d^2x/dt^2 = -D \cdot x$

**Hauptsätze der Thermodynamik****(LK, GK)***Sachinhalte*

- Stirlingprozess
- Zustandsänderungen idealer Gase (isotherm, isochor)
- Wärmepumpe
- Gedankenexperiment zum idealen Wirkungsgrad
- Erster und Zweiter Hauptsatz

*Kompetenzen*

Die Schülerinnen und Schüler ...

- stellen den Kreisprozess eines idealen Heißluftmotors in einem p-V-Diagramm dar (Isochore, Isotherme)
- berechnen den maximalen Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine
- begründen, warum der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine nicht größer sein kann als  $\eta = 1 - T_k/T_h$
- beschreiben das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe anhand eines Energieflussdiagramms
- bewerten die Hauptsätze der Thermodynamik im Hinblick auf Aspekte der Energieversorgung und Energieentwertung

*Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Strahlungsenergie* [z. B. Wärmestrahlung als Form der Energieübertragung; Plancksches Strahlungsgesetz; Stefan-Boltzmannsches Strahlungsgesetz ; Energiebilanz der Erde (Aufbau der Atmosphäre, Treibhauseffekt)]
- *Wärmekraftmaschinen* [z. B. isobare und adiabatische Zustandsänderungen; Vergleichsprozesse und technische Realisierungen des Diesel- und Ottoprozesses; Kreisprozesse in Kraftwerken]
- *Entropie und Wahrscheinlichkeit* [z. B. reversible und irreversible Vorgänge; statistische Interpretation der Entropie; Entropie in physikalischen und außerphysikalischen Zusammenhängen (z. B. Biologie, Informationstheorie)]
- *Kinetische Gastheorie* [z. B. Grundgleichung der kinetischen Gastheorie  $p \cdot V = \frac{2}{3} \cdot N \cdot W_{\text{kin, mittel}}$ ; kinetisch-statistische Deutung der makroskopischen Zustandsgrößen Druck, Temperatur, Innere Energie]
- *Kreisprozesse* [z.B. Zustandsänderungen von Gasen; Stirlingmotor; technische Wirkungsgrade]

*Hinweise*

- Inhaltsbezogene Kompetenzen zum Energiekonzept werden bis Ende Kl. 10 erworben (s. Kompetenzbeschreibung Bildungsplan Gy 5-10)
- Möglichst direkte Hinführung zum 2. Hauptsatz. Gasgesetze nur in dem Maße behandeln, wie sie zum Verständnis des Stirlingprozesses als Hinführung zum idealen Wirkungsgrad notwendig sind (daher Beschränkung auf isotherm und isochor)
- Beim Stirlingmotor sollte darauf hingewiesen werden, dass sein Wirkungsgrad aus theoretischen Gründen immer niedriger sein muss als der maximale Wirkungsgrad einer idealen Wärmekraftmaschine (Carnotscher Wirkungsgrad).
- Der Kernbaustein umfasst weder die komplette kinetische Gastheorie noch die Allgemeine Gasgleichung.

**Grundlagen elektrischer und magnetischer Felder (GK)***Sachinhalte*

- Elektrische Feldstärke, feldbeschreibende Größe **E**
- Homogene und inhomogene elektrische Felder
- Magnetische Feldstärke, feldbeschreibende Größe **B**
- Lorentzkraft

*Kompetenzen*

Die Schülerinnen und Schüler ...

- erläutern die Definition der elektrischen Feldstärke **E = F/Q**
- stellen elektrische und magnetische Felder als Vektorfelder dar
- erläutern die Definition der magnetischen Feldstärke **B** als Kraft auf ein Stromelement
- begründen die Bahnkurve elektrischer Ladungsträger im homogenen magnetischen Feld mit der Lorentzkraft (halb-quantitativ)

*Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Halleffekt und Untersuchung spezieller magnetischer Felder (GK)* [z.B. Richtung und Stärke des Magnetfelds eines langen Leiters im Abstand r; homogenes Feld im Inneren]

einer langgestreckten Spule; Halleffekt (quantitativ); Vermessung inhomogener magnetischer Felder (Permanentmagnete, kurze Spulen)]

- *Induktion* (Vertiefung) [z.B. Induktionsgesetz (in einer geeigneten Formulierung); exemplarische Anwendung des Induktionsgesetzes; Induktivität einer langen Spule; Energie des Magnetfeldes  $W_{\text{mag}} = \frac{1}{2} L \cdot I^2$ ; Selbstinduktion]
- *Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern* [z.B. Teilchenbeschleuniger; Massenspektrometer; e/m-Bestimmung]
- *Elektrische Energie und Lebenswelt* [z.B. Geschichte der Versorgung mit el. Energie; Auswirkungen auf Alltagsleben und industrielle Produktion; Energiekosten]
- *Energietechnik, Energieversorgung* [z.B. Großtechnische Gewinnung elektrischer Energie; Versorgungsnetze; Energieversorgungsunternehmen]
- *Entwicklung des Ladungskonzepts* [z.B. historische Vorstufen des heutigen Konzepts der elektrischen Ladung; Ladung als Eigenschaft geladener Körper; Messung elektrischer Ladung; Bestimmung der Elementarladung (Millikan-Experiment)]
- *Gravitationsfeld* [z.B. Gravitationsgesetz; Arbeit im Gravitationsfeld; Satelliten- und Planetenbahnen (nicht: Keplersche Gesetze, Entwicklung des Astronomischen Weltbilds)]

#### Hinweise

- Verwendung eines einfachen Ladungskonzepts (vgl. Klasse 8, Bildungsplan Gymnasium); das Ladungskonzept kann im Vertiefungsbaustein „Entwicklung des Ladungsbegriffs“ ausgebaut werden
- Definition der magnetischen Feldstärke  $\mathbf{B}$  in Analogie zur elektrischen Feldstärke (Kraft auf Probeladung) über die Kraft auf ein Stromelement:  $|\mathbf{B}| = F/(I \cdot l)$  ( $I$ : Stromstärke,  $l$ : Länge des Stromelements; bei orthogonaler Orientierung zur Feldrichtung)
- Empfohlen: Verbindung mit den Erweiterungsbausteinen „Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern“ oder „Halleffekt und Untersuchung spezieller magnetischer Felder“

## Elektrisches Feld

(LK)

### Sachinhalte

- Grundphänomene (Influenz und Polarisation)
- Elektrische Feldstärke
- Feldbeschreibende Größe  $\mathbf{E}$
- Homogene und inhomogene elektrische Felder
- Coulombkraft
- Kondensator, Energie im elektrischen Feld
- Elektrische Spannung

### Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben elektrostatische Grundphänomene mit den Begriffen Influenz und Polarisation
- erläutern die Definition der elektrischen Feldstärke  $\mathbf{E} = \mathbf{F}/Q$
- stellen elektrische Felder als Vektorfelder dar
- berechnen die elektrische Feldstärke in der Umgebung von Punktladungen
- berechnen die Energie im Feld eines Plattenkondensators

- berechnen die elektrische Spannung bei einer Ladungsverschiebung im homogenen elektrischen Feld  $U = \Delta W/Q$

#### *Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Gravitationsfeld* [z.B. Gravitationsgesetz; Arbeit im Gravitationsfeld; Satelliten- und Planetenbahnen (nicht: Keplersche Gesetze, Entwicklung des Astronomischen Weltbilds)]
- *Elektrische Felder in medizinischen Kontexten* [z.B. elektrisches Potential; elektrische Leitungsvorgänge im menschlichen Körper; elektrochemische Vorgänge; Ruhe- und Aktionspotentiale; EKG, EEG]
- *Entwicklung des Ladungskonzepts* [z.B. historische Vorstufen des heutigen Konzepts der elektrischen Ladung; Ladung als Eigenschaft geladener Körper; Messung elektrischer Ladung; Bestimmung der Elementarladung (Millikan-Experiment)]
- *Elektrisches Potential / Kondensator* [z.B. elektrisches Potential; Bauformen, Kapazität von Kondensatoren; Kondensator im elektrischen Stromkreis; Energie eines geladenen Kondensators]

#### *Hinweise*

- Verwendung eines einfachen Ladungskonzepts (vgl. Klasse 8, Bildungsplan Gymnasium); das Ladungskonzept kann im Vertiefungsbaustein „Entwicklung des Ladungsbegriffs“ ausgebaut werden
- Empfohlen: Verbindung mit Erweiterungsbaustein „Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern“)

## **Magnetisches Feld**

**(LK)**

#### *Sachinhalte*

- Magnetischer Feldstärke
- Feldbeschreibende Größe **B**
- Magnetische Felder spezieller Anordnungen
- Lorentzkraft
- Halleffekt
- Bewegung geladener Teilchen im magnetischen Feld (Grundphänomen)

#### *Kompetenzen*

Die Schülerinnen und Schüler ...

- erläutern die Definition der magnetischen Feldstärke **B** als Kraft auf ein Stromelement
- berechnen die Stärke des Magnetfelds im Inneren einer langgestreckten Spule
- berechnen die Richtung und die Stärke des Magnetfelds eines langen Leiters im Abstand  $r$ ;
- erläutern die Entstehung der Hallspannung
- entwerfen eine Versuchsanordnung zur Bestimmung der Stärke und Richtung eines Magnetfelds
- begründen die Bahnkurve elektrischer Ladungsträger im homogenen magnetischen Feld mit der Lorentzkraft

*Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Induktion* (Vertiefung) [z.B. Induktionsgesetz (in einer geeigneten Formulierung); exemplarische Anwendung des Induktionsgesetzes; Induktivität einer langen Spule; Selbstinduktion]
- *Energietechnik*, Energieversorgung [z.B. Großtechnische Gewinnung elektrischer Energie; Versorgungsnetze; Energieversorgungsunternehmen]
- *Elektrische Energie und Lebenswelt* [z.B. Geschichte der Versorgung mit el. Energie; Auswirkungen auf Alltagsleben und industrielle Produktion; Energiekosten]
- *Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern* [z.B. Teilchenbeschleuniger; Massenspektrometer ; e/m-Bestimmung]

*Hinweise*

- *Inhaltsbezogene Kompetenzen zum Thema Induktion werden bis Ende Kl. 10 erworben* (s. Kompetenzbeschreibung Bildungsplan Gymnasium 5 -10)
- Definition der magnetischen Feldstärke  $\mathbf{B}$  in Analogie zur elektrischen Feldstärke über die Kraft auf ein Stromelement :  $|\mathbf{B}| = F/(I \cdot l)$  ( $I$ : Stromstärke,  $l$ : Länge des Stromelements; bei orthogonaler Orientierung zur Feldrichtung)

**Elektromagnetische Schwingungen****(LK)***Sachinhalte*

- Energie des magnetischen Feldes
- Elektromagnetischer Schwingkreis
- Thomsonsche Schwingungsgleichung

*Kompetenzen*

Die Schülerinnen und Schüler ...

- nennen Analogien zwischen elektromagnetischen und mechanischen Schwingungen
- erklären das Zustandekommen einer elektromagnetischen Schwingung
- benennen und berechnen die Energieumwandlungen im elektromagnetischen Schwingkreis
- berechnen die Kenngrößen eines Schwingkreises
- stellen eine elektromagnetische Schwingung im  $U, I$ - $t$ -Diagramm dar

*Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Wechselstromkreis* [z.B. Erzeugung einer Wechselspannung; induktiver und kapazitiver Widerstand; Leistung im Wechselstromkreis]
- *Elektroakustik* [z.B. Funktionsweise unterschiedlicher Mikrofone und Lautsprecher; Verstärkung (Leistung, Spannung)]
- *Elektromagnetische Felder im Alltag* [z.B. Messung elektrischer Feldstärken; Mobilfunk; „Elektrosmog“]
- *Elektromagnetische Wellen* [z.B. Fernfeld eines Dipols; Polarisation von Wellen; Zusammenhang von Geschwindigkeit, Wellenlänge und Frequenz]
- *Elektromagnetische Wellen* (Vertiefung) [z.B. Nahfeld eines Dipols; Wellengleichung; stehende elektromagnetische Wellen]

*Hinweise*

- Wenn kein Erweiterungsbaustein „Induktion“ bearbeitet wurde, kann die Induktivität  $L$  z.B. als Kennwert von Spulen über den Stromstärke-Induktionsspannungsverlauf beim Einschalten des Spulenstroms eingeführt werden.

**Wellenoptik****(LK, GK)***Sachinhalte*

- Licht als Wellenphänomen
- Huygenssches Prinzip, Beugung
- Wellenbeschreibende Größen
- Interferenz
- Polarisation

*Kompetenzen*

Die Schülerinnen und Schüler ...

- erklären Beugungs- und Interferenzerscheinungen mit dem Wellenmodell des Lichts
- führen ein Experiment zu Interferenzerscheinungen durch
- leiten die Bedingungen für Interferenzmaxima und -minima beim optischen Gitter her
- berechnen die Lage von Interferenzmaxima bzw. -minima
- beschreiben Polarisierbarkeit als Eigenschaft transversaler Wellen

*Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Elektromagnetisches Spektrum* [z.B. Bestimmung der Wellenlänge; Erzeugung und Nachweis von Mikrowellen, Röntgenstrahlung, Wärmestrahlung]
- *Geometrische Optik im Wellenmodell* [z.B. Fermatsches Prinzip; Deutung von Brechung (Linsen); Deutung von Reflexion (ebene und gekrümmte Spiegel)]
- *Optische Instrumente* [z.B. Bauarten von Mikroskopen und Fernrohren; Auflösungsvermögen optischer Systeme]
- *Farberscheinungen in der Natur* [z.B. Streuung, Farbe(n) des Himmels; Interferenz an dünnen Schichten; Emissions- und Absorptionsspektren]
- *Holografie* [z.B. Räumliches Sehen; Wiedergabe von Hologrammen; Erstellen von Hologrammen; Anwendungen von holografischen Verfahren]
- *Elektromagnetische Schwingungen und Wellen* [z.B. elektrischer Schwingkreis; Dipol als Schwinger, Sender, Empfänger; Fernfeld von  $\mathbf{E}$  und  $\mathbf{B}$ ]
- *Zeigerformalismus und Lichtwege* [z.B. Phasen und Amplituden; Begründung des Fermatschen Prinzips; Lichtwege bei der Reflexion, Cornu-Spiralen; Lichtwege beim Gitter]

*Hinweise*

- Wenn ein Erweiterungsbaustein „Wellen“ (mechanisch oder elektromagnetisch) behandelt wurde, kann der Wellenaspekt des Lichts über Analogiebetrachten eingeführt werden.
- Sonst empfiehlt es sich, Beugung und Interferenz an mechanischen Wellen parallel zur Einführung des Wellenaspekts beim Licht zu behandeln.

**Mikroobjekte****(LK, GK)***Sachinhalte*

- Quantencharakter von Photonen und freien Elektronen (Elektronenbeugung, Fotoeffekt)
- de Broglie-Wellenlänge
- Plancksches Wirkungsquantum
- Unbestimmtheitsrelation

*Kompetenzen*

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben Versuchsanordnungen, welche die Quanteneigenschaften von Photonen und Elektronen verdeutlichen
- bestimmen aus geeigneten Messwerten den Wert des Planckschen Wirkungsquantums
- nennen und erläutern die grundlegenden Unterschiede zwischen klassischer Physik und Quantenphysik
- schätzen unter Anwendung der Unbestimmtheitsrelation den Anwendungsbereich quantenphysikalischer Betrachtungsweisen ab

*Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Quantencomputer* [z.B. Superposition und Verschränkung; Qubits; Quantenregister; (probabilistische) Algorithmen; physikalische Realisierung]
- *Quantenkryptografie* [z.B. Chiffrierung (Alice - Eva - Bob); verschränkte Photonen und Schlüsselübertragung; physikalische und technische Realisierung]
- *Röntgenstrahlung* [z.B. Bragg-Reflexion; kurzwelliges Ende der Röntgenstrahlung; charakteristische Röntgenstrahlung; Moseleysches Gesetz; Absorption von Röntgenstrahlung]
- *Wesenszüge von Mikroobjekten (Vertiefung)* [z.B. Statistisches Verhalten; Fähigkeit zur Interferenz; Eindeutige Messergebnisse; Komplementarität]

*Hinweise*

- Simulationssoftware, z.B. Datenbank „QUAMS - Quantenphysik Medienserver“

**Quantenphysik der Atomhülle****(LK, GK)***Sachinhalte*

- Franck-Hertz-Experiment
- Modell des linearen Potentialtopfes, Zustandsfunktion  $\psi(x)$  für das Elektron, Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichte  $\psi^2(x)$
- Linienspektren
- Wasserstoffatom (dreidimensionaler Potentialtopf, Termschema)
- Visualisierung von Zuständen des Wasserstoffatoms (Orbitale)

*Kompetenzen*

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben den Aufbau und die Durchführung des Franck-Hertz-Experiments und erläutern die aus den Ergebnissen gezogenen Folgerungen

- erläutern die Quantisierung der Energie gebundener Elektronen anhand des Modells des linearen Potentialtopfs
- stellen  $\psi$ - und  $\psi^2$ -Funktionen im linearen Potentialtopf grafisch dar
- deuten die  $\psi^2$ -Funktion als Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichte
- erläutern das Modell des dreidimensionalen Potentialtopfes für das Wasserstoffatom
- berechnen Energiedifferenzen bei Zustandsänderungen des Wasserstoffatoms
- erklären den Zusammenhang zwischen einem vorgelegten Termschema des Wasserstoffatoms und Spektralserien
- erläutern vorgelegte Orbitaldarstellungen des Wasserstoffatoms

#### *Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- Schrödingergleichung [z.B. Coulombpotential und Zustandsfunktionen für das Wasserstoffatom; Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichten; analytische Lösungen der Schrödingergleichung für einfache Fälle; Quantenzahlen; Visualisierung von Zuständen des Wasserstoffatoms (Orbitale)]
- Atome mit mehreren Elektronen [z.B. numerische Lösungen der Schrödingergleichung; Anwendung auf komplexere Atome (He, Li)]
- Festkörperphysik [z.B. Übergang Atom-Festkörper; quantenphysikalische Aspekte der Festkörperphysik; Farbstoffe; Bändermodell]
- Laser [z.B. Fluoreszenz; stimulierte Emission; (optisch gepumpter) Laser; Selbstorganisation von Systemen; Laser in Technik und Alltag]
- Erkenntnistheoretische Aspekte der Quantenphysik [z.B. Messprozesse in der Quantenphysik; Eigenschaft vs. Zustand; Kopenhagener Deutung; Realitätsbegriff; epistemische Deutung / Katzenparadoxon]
- Entwicklung der Atommodelle [z.B. Funktion von Modellen in der physikalischen Erkenntnisgewinnung; Übergänge zwischen Atommodellen (Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr, wellenmechanisches Modell)]
- Spektren, Bohrsches Atommodell [z.B. Linienspektren von Gasen (einschl. Schülerexperimente); Wasserstoffspektrum; Rydberg-Frequenz; Energieniveaus; Bohrsches Atommodell]
- Halbleiterphysik [z.B. reine Halbleiter; dotierte Halbleiter; ausgewählte Anwendungen (Dioden, Solarzellen, Transistoren, LED, Halbleiterlaser etc.)]

#### *Hinweise*

- Das Wasserstoffatom wird durch einen dreidimensionalen Potentialtopf mit unendlich hohen Wänden modelliert. Seine Tiefe wird durch eine „mittlere Tiefe“ des Coulombpotentials abgeschätzt. (Materialien, z.B. Münchener Internetprojekt zur Lehrerfortbildung in Quantenmechanik; <http://www.cip.physik.uni-muenchen.de/~milq/> Stand Juli 2008).
- Die Beziehung  $W_{\text{ges, n}} \sim 1/n^2$  für das Wasserstoffatom kann unter Zugrundelegung der Annahme des Potentialtopfes mathematisch hergeleitet oder alternativ (z.B. im Grundkurs) lediglich vorgestellt und erläutert werden.
- Die Energie  $W_1 = -13,6$  eV für den Grundzustand des Wasserstoffatoms kann unter Hinweis auf genauere quantenmechanische Rechnungen mitgeteilt werden.
- Auf ein verbessertes Modell, in dem das Coulombpotential verwendet wird, und die sich daraus ergebenden Aufenthaltswahrscheinlichkeitsdichten kann ein Ausblick gegeben werden. (Oder es wird ein entsprechender Erweiterungsbaustein gewählt.)
- Software zur Visualisierung von Orbitalen, z.B. <http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/software/index.html> (Stand 14.3.2008)

**Struktur der Materie****(LK, GK)***Sachinhalte*

- Die Suche nach den kleinsten Bausteinen
- Kernmasse, Kernradius, Proton, Neutron
- Paarbildung und Paarvernichtung
- Der Teilchenzoo – drei Klassen von Teilchen und Antiteilchen
- Nukleonen aus Quarks zusammengesetzt

*Kompetenzen*

Die Schülerinnen und Schüler ...

- schätzen die Größenordnungen von Strukturbauteilen der Materie ab
- beschreiben Verfahren zur Bestimmung der Masse und des Radius von Kernen und Nukleonen
- beschreiben die Funktion eines Massenspektrographen
- erläutern das Rutherford'sche Streuexperiment
- beschreiben und berechnen Paarbildung und Paarvernichtung mit Energie-Masse-Umwandlung
- beschreiben den Aufbau von Nukleonen aus Quarks

*Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Kernzustände und -modelle* [z.B. Potentialtopfmodell des Atomkerns; Tröpfchenmodell; Bindungsenergie, Massendefekt]
- *Austauschkräfte und Austauschteilchen* [z.B. die vier Grundkräfte der Natur; Feldquanten; virtuelle Teilchen; Feynman-Graphen]
- *Großforschungsanlagen zur Teilchenphysik* [z.B. DESY (vorzugsweise in Verbindung mit einer Exkursion); Linearbeschleuniger; Kreisbeschleuniger, Synchrotron; Zyklotron; aktuelle Forschungsfragen; Detektoren; relativistische Effekte in Beschleunigeranlagen]
- *Radioaktivität* [z.B. Beschreibende Größen für ionisierende Strahlung (Becquerel, Sievert, Gray); Kernzerfälle (theoretisch vertieft); Spektrum der  $\alpha$ - und  $\beta$ -Strahlung; Kernspaltung und Kernfusion]
- *Kernenergie* [z.B. Beschreibende Größen für ionisierende Strahlung (Becquerel, Sievert, Gray); Kernspaltung und Kernfusion; technische Umsetzung (auch Fusionsreaktoren); Perspektiven der Nutzung der Kernenergie]
- *Untersuchung von Mikrostrukturen* [z.B. Kristallstrukturen; Strukturanalyse mit Röntgenstrahlung; Rasterelektronenmikroskopie]

*Hinweise*

- Die Gleichung  $W = m \cdot c^2$  wird mitgeteilt und erläutert, wenn sie nicht an anderer Stelle eingeführt wurde.

**Spezielle Relativitätstheorie****(LK)***Sachinhalte*

- Relativität und Gleichzeitigkeit
- Zeitdilatation, Längenkontraktion
- Minkowski-Diagramme

- Relativistische Masse

### *Kompetenzen*

Die Schülerinnen und Schüler ...

- erläutern anhand von Gedankenexperimenten (z.B. Einsteinuhr) die Beobachter-Abhängigkeit der zeitlichen Abfolge von Ereignissen
- berechnen aus gegebenen Parametern die Zeitdilatation und Längenkontraktion
- stellen experimentelle Befunde dar, welche die Relativitätstheorie stützen (z.B. Myonen-Zerfall oder Hafele-Keating-Experiment)
- erstellen und interpretieren Minkowski-Diagramme
- erläutern im Zusammenhang mit der Energie-Masse-Äquivalenz den Unterschied zwischen der Masse als Eigenschaft eines Körpers und der Stoffmenge

### *Zugangswege/Anwendungsbereiche/Vertiefungen (Erweiterungsbausteine)*

- *Allgemeine Relativitätstheorie* [z.B. Äquivalenzprinzip; Experimentelle Tests der Theorie (Periheldrehung des Merkur, Krümmung von Lichtstrahlen in Sonnennähe, relativistische Rotverschiebung)]
- *Relativistische Dynamik* [z.B. Relativität der Masse; Äquivalenz von Masse und Energie; relativistischer Impuls]

## 2.2 Themenübergreifende fachmethodische Kompetenzen

Der Bildungsplan weist *themenübergreifende fachmethodische Kompetenzen* aus, die über die Gesamtheit aller Kern- und Erweiterungsbausteine obligatorisch zu vermitteln sind.

### Physikalische Untersuchungen planen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- entwerfen geeignete Vorgehensweisen zur Prüfung vorliegender Hypothesen oder Fragestellungen
- planen eigene Untersuchungen in einem bekannten Themenbereich
- entwickeln Hypothesen auf Grundlage theoretischer Vorklärungen
- entwerfen und variieren Versuchsanordnungen

### Experimente vorbereiten und durchführen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- bauen Versuchsanordnungen nach Anleitung eigenständig auf
- wenden grundlegende Messverfahren routiniert an (Bestimmung von Zeiten, Strecken, Massen, Kräften, Stromstärken, Spannungen etc.)
- diskutieren Fehlerquellen bei Experimenten
- dokumentieren die Durchführung von experimentellen Untersuchungen und die dabei gewonnenen Messdaten

### Daten aus physikalischen Untersuchungen aufbereiten und auswerten

Die Schülerinnen und Schüler ...

- berechnen aus Rohdaten relevante physikalische Größen
- vergleichen verschiedene Verfahren zur Darstellung von Daten
- wenden geeignete Verfahren sachgerecht an
- schätzen die Größe von Messfehlern quantitativ ab

### Phänomene physikalisch modellieren

Die Schülerinnen und Schüler ...

- begründen auf Grundlage physikalischer Modelle die Auswahl wesentliche Aspekte und Größen für eine Untersuchung
- ordnen Untersuchungsergebnisse in vertraute Modellstrukturen ein
- entwickeln für weniger komplexe Zusammenhänge eigene Modellansätze
- erläutern die Funktion von Modellen im physikalischen Erkenntnisprozess

### Physikalische Sachverhalte mathematisieren

Die Schülerinnen und Schüler ...

- erläutern die Bedeutung der Mathematik als Werkzeug für die Physik
- leiten physikalische Größen her und berechnen ihre Werte
- stellen Messergebnisse in einer geeigneten mathematischen Form dar
- prüfen physikalische Zusammenhänge anhand quantitativer Daten

### **Sachgerecht und adressatengerecht über Physik kommunizieren**

Die Schülerinnen und Schüler ...

- stellen physikalische Zusammenhänge in unterschiedlichen Formen sachgerecht dar
- erklären physikalische Sachverhalte adressaten- und situationsgerecht
- diskutieren auf angemessenem Niveau zu physikalischen Sachverhalten und Fragestellungen

### **Erkenntniswege der Physik beschreiben**

Die Schülerinnen und Schüler ...

- erläutern die unterschiedlichen Funktionen physikalischer Experimenten (Phänomenklärung, Hypothesenprüfung, Theorieveranschaulichung)
- erläutern an Beispielen Zusammenhänge zwischen Theorie und Experiment
- beschreiben physikalische Erkenntnisgewinnung als einen kreativen, durch Belege gestützten Konstruktionsprozess
- erläutern die Ideengeschichte ausgewählter physikalischer Konzepte

### **Über die Bezüge der Physik reflektieren**

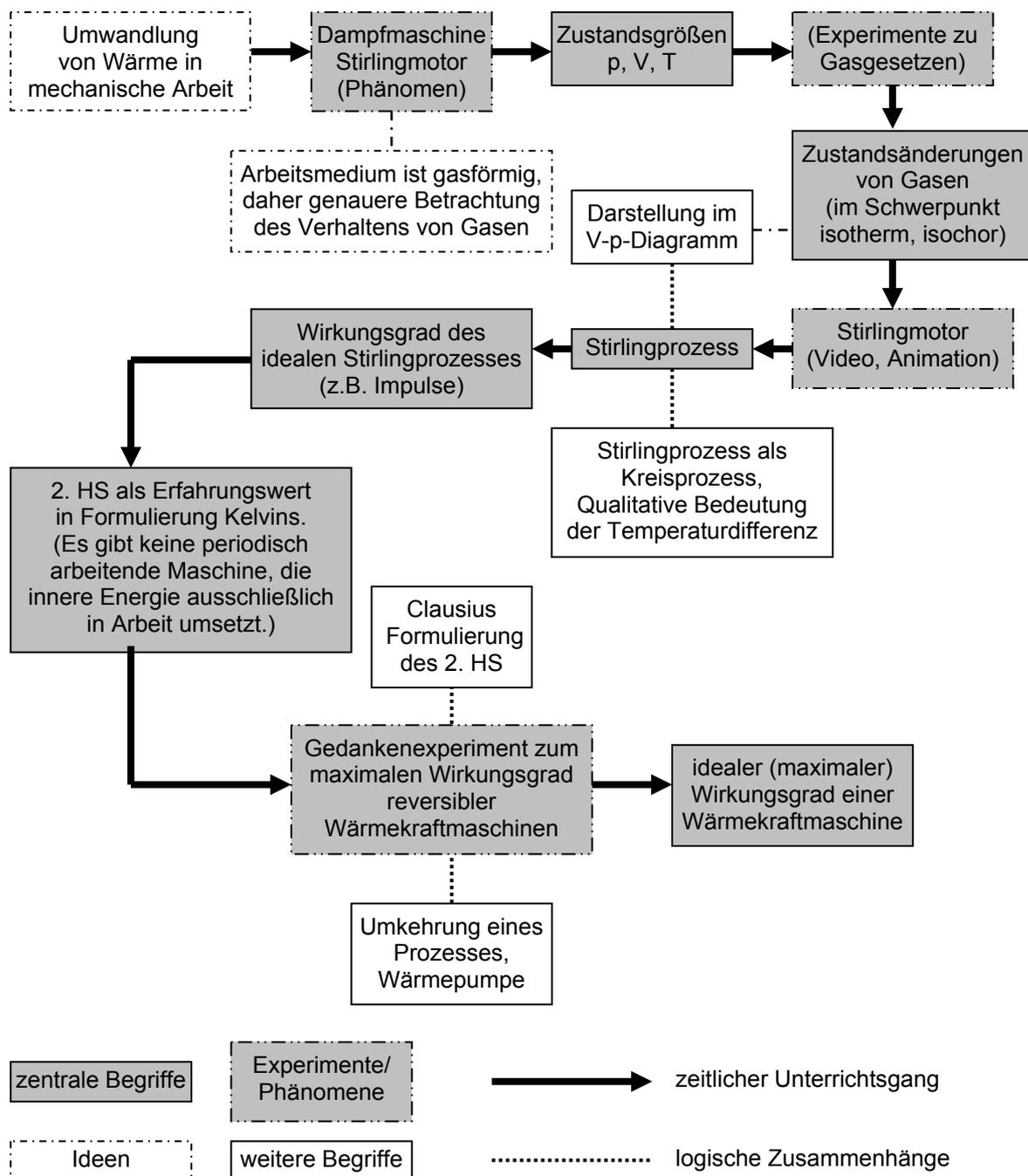
Die Schülerinnen und Schüler ...

- stellen an Beispielen die wechselseitigen Beziehungen von Physik, Technik und gesellschaftlich-kulturellen Entwicklungen dar
- reflektieren physikalische Erkenntnisse im Hinblick auf persönliche oder gesellschaftlich-politische Entscheidungen

### 3. Hinweise zu einzelnen Bausteinen

#### 3.1 Umsetzung des Kernbausteins „Hauptsätze der Thermodynamik“

Der nachhaltige Umgang mit den natürlichen Ressourcen gehört zu den Grundlagen gesellschaftlichen Handelns. Die Physik liefert mit den Hauptsätzen der Thermodynamik die naturgesetzliche Fundierung der begrenzten Effizienz von Energieumwandlungsprozessen. Schwerpunkt des Bausteins ist der Begriff der Energieentwertung, bzw. der begrenzten Umkehrbarkeit von Energieumwandlungen (Irreversibilität). Zur Quantifizierung dienen der maximale physikalische und der technisch realisierte Wirkungsgrad von Energieumwandlungsprozessen. Gasgesetze sollen nur in dem Umfang behandelt werden, wie sie zur Plausibilisierung des Wirkungsgrades einer idealen Wärmekraftmaschine notwendig sind.



## 4. Beispielhafte Bausteinfolgen (Sequenzierungen)

Im Folgenden ist jeweils eine *mögliche* Sequenzierung für die Zusammenstellung der Kern- und Erweiterungsbausteine für einen Grund- und einen Leistungskurs dargestellt. Die Sequenzierungen können als zeitlicher Ablaufplan verstanden werden und sind grob in die beiden Jahrgänge der Qualifikationsphase unterteilt.

Den Sequenzierungen liegen beispielhaft Annahmen über Schwerpunktthemen für das Zentralabitur zugrunde. Dadurch wird deutlich, dass der Aufbau eines Kurses in Abhängigkeit von den Schwerpunktthemen neu zusammengestellt werden muss. So ergibt sich für jeden Kurs die Möglichkeit, die Schwerpunkte an den Abiturthemen zu orientieren.

*Beispielhafte Annahmen über die Schwerpunktthemen für einen Leistungskurs:*

- Themenschwerpunkt 1: Bewegung von Ladungsträgern in homogenen magnetischen Feldern,  $e/m$ -Bestimmung (Kernbaustein: Magnetisches Feld; Erweiterungsbaustein: Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern)
- Themenschwerpunkt 2: Materiewellen und de Broglie-Beziehung (Kernbaustein: Mikroobjekte)
- Themenschwerpunkt 3: Absorption radioaktiver Strahlung, Nachweis- und Messmethoden radioaktiver Strahlung (Kernbaustein: Struktur der Materie)

*Beispielhafte Annahmen über die Schwerpunktthemen für einen Grundkurs:*

- Themenschwerpunkt 1: Bewegung von Ladungsträgern in homogenen magnetischen Feldern,  $e/m$ -Bestimmung (Kernbaustein: Magnetisches Feld, Erweiterungsbaustein: Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern)
- Themenschwerpunkt 2: Fotoeffekt, Comptoneffekt (Kernbaustein: Mikroobjekte)
- Themenschwerpunkt 3: Franck-Hertz-Experiment, Elektronenstoßröhre (Kernbaustein: Quantenphysik der Atomhülle)

*Hinweise zu den Sequenzierungen:*

- Erweiterungsbausteine können als Motivation (durch einen lebensweltlichen oder historischen Kontext) vor der Bearbeitung eines Kernbausteins eingesetzt werden (vgl. im Aufbau des LK EB: Entwicklung der Atommodelle und KB: Quantenphysik der Atomhülle).
- Erweiterungsbausteine können zur Vertiefung von Mittelstufeninhalten formuliert und vor der Behandlung eines Kernbausteins eingesetzt werden (vgl. im Aufbau des LK: EB Induktion und KB: Elektromagnetische Schwingungen und Wellen).
- Erweiterungsbausteine können als Vertiefung der Inhalte eines Kernbausteins eingesetzt werden (vgl. im Aufbau des LK KB: Mikroobjekte und EB: Röntgenstrahlung).
- Kern- und Erweiterungsbausteine können integriert werden. Dies ist vor allem in Verbindung mit einer Vertiefung der Schwerpunktthemen sinnvoll (vgl. im Aufbau des GK KB: Grundlagen elektrischer und magnetischer Felder).

## 2.1 Aufbau eines Grundkurses – Beispiel

|                     |         |  |
|---------------------|---------|--|
| Halbjahre Q1 und Q2 | KB      | <b>Mechanische Schwingungen</b>  |
|                     | KB      | <b>Hauptsätze der Thermodynamik</b>  |
|                     | KB + EB | <b>Grundlagen elektrischer und magnetischer Felder</b><br>integriert: Elektrisches Potenzial / Kondensator<br>integriert: Elektromagnetische Felder in medizinischen Kontexten |
|                     | SP      | Vertiefung Schwerpunktthema  |
|                     | KB      | <b>Wellenoptik</b>   |
|                     | EB      | Farberscheinungen in der Natur   |
| Halbjahre Q3 und Q4 | KB + EB | <b>Mikroobjekte</b><br>integriert: Röntgenstrahlung<br>Vertiefung Schwerpunktthema   |
|                     | SP      | Vertiefung Schwerpunktthema  |
|                     | KB      | <b>Quantenphysik der Atomhülle</b>   |
|                     | SP      | Vertiefung Schwerpunktthema  |
|                     | KB      | <b>Struktur der Materie</b>  |

## 2.2 Aufbau eines Leistungskurses – Beispiel

|                     |                             |  |
|---------------------|-----------------------------|--|
| Halbjahre Q1 und Q2 | KB                          | <b>Mechanische Schwingungen</b>  |
|                     | EB                          | Gedämpfte und erzwungene Schwingungen, Resonanz  |
|                     | KB                          | <b>Hauptsätze der Thermodynamik</b>  |
|                     | KB + EB                     | <b>Elektrisches Feld</b><br>integriert: Elektrisches Potenzial / Kondensator                       |
|                     | KB + EB                     | <b>Magnetisches Feld</b><br>integriert: Geladene Teilchen in elektrischen und magnetischen Feldern |
|                     | SP                          | Vertiefung Schwerpunktthema  |
|                     | EB                          | Induktion  |
|                     | KB                          | <b>Elektromagnetische Schwingungen und Wellen</b>  |
|                     | EB                          | Elektromagnetische Felder im Alltag  |
|                     | KB                          | <b>Wellenoptik</b>   |
|                     | EB                          | Farberscheinungen in der Natur   |
|                     | Halbjahre Q3 und Q4         | KB   |
| KB                  |                             | <b>Mikroobjekte</b>  |
| SP                  |                             | Vertiefung Schwerpunktthema  |
| EB                  |                             | Röntgenstrahlung   |
| EB                  |                             | Entwicklung der Atommodelle  |
| KB                  |                             | <b>Quantenphysik der Atomhülle</b>   |
| EB                  |                             | Quantenzahlen und Atome mit mehreren Elektronen  |
| EB                  |                             | Festkörperphysik   |
| KB + EB             |                             | <b>Struktur der Materie</b><br>integriert: Großforschungsanlagen                                   |
| SP                  | Vertiefung Schwerpunktthema |  |



