

**Kerncurriculum für  
das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe  
die Gesamtschule – gymnasiale Oberstufe  
das Berufliche Gymnasium  
das Abendgymnasium  
das Kolleg**

---

# Physik

---



Niedersachsen

An der Weiterentwicklung des Kerncurriculums für das Unterrichtsfach Physik für den Sekundarbereich II waren die nachstehend genannten Personen beteiligt:

Klaus Bresser, Lüneburg

Dr. Oliver Burmeister, Hannover

Michael Frenzel, Osnabrück

Jens Gössing, Wolfsburg

Ulf Hampe, Wolfsburg

Jörg Michal, Hannover

Michael Rode, Lüneburg

Die Ergebnisse des gesetzlich vorgeschriebenen Anhörungsverfahrens sind berücksichtigt worden.

Herausgegeben vom Niedersächsischen Kultusministerium (2022)

30173 Hannover, Hans-Böckler-Allee 5

Druck:

Unidruck

Weidendamm 19

30167 Hannover

Das Kerncurriculum und die ergänzenden Materialien können als PDF-Datei vom Niedersächsischen Bildungsserver (NIBIS) unter (<http://www.cuvo.nibis.de>) heruntergeladen werden.



<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>	
<b>1</b>	<b>Bildungsbeitrag des Faches Physik</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Kompetenzorientierter Unterricht</b>	<b>7</b>
<b>2.1</b>	<b>Kompetenzbereiche</b>	<b>7</b>
<b>2.2</b>	<b>Kompetenzentwicklung</b>	<b>8</b>
<b>2.3</b>	<b>Beitrag des Faches Physik zur Medienbildung</b>	<b>13</b>
<b>2.4</b>	<b>Basiskonzepte</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Erwartete Kompetenzen</b>	<b>16</b>
<b>3.1</b>	<b>Prozessbezogene Kompetenzen</b>	<b>16</b>
<b>3.2</b>	<b>Inhaltsbezogene Kompetenzen mit Zuordnung prozessbezogener Kompetenzen in der Einführungsphase</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Inhaltsbezogene Kompetenzen mit Zuordnung prozessbezogener Kompetenzen in der Qualifikationsphase</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>Leistungsfeststellung und Leistungsbewertung</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>Aufgaben der Fachkonferenz bzw. der Fachgruppe</b>	<b>49</b>
<b>Anhang</b>		<b>50</b>
<b>A 1</b>	<b>Operatoren für die Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Physik)</b>	<b>50</b>
<b>A 2</b>	<b>Dokumentation eines Lösungsweges bei Verwendung eines elektronischen Rechenwerkzeugs</b>	<b>52</b>
<b>A 3</b>	<b>Abschätzung von Messunsicherheiten im Physikunterricht</b>	<b>54</b>



## 1 Bildungsbeitrag des Faches Physik

Im naturwissenschaftlichen Unterricht sollen ein Verständnis für den Vorgang der Abstraktion, die Fähigkeit zu logischem Schließen und die Sicherheit in einfachen Kalkülen vermittelt werden. Die Lernenden sollen darüber hinaus einen Einblick in die Mathematisierung von Sachverhalten, in die Besonderheiten naturwissenschaftlicher Methoden, in die Entwicklung von Modellvorstellungen und deren Anwendung auf die belebte und unbelebte Natur und in die Funktion naturwissenschaftlicher Theorien erhalten.

Die Bedeutung des Unterrichtsfaches Physik für den Unterricht in der Einführungs- und Qualifikationsphase erschließt sich aus den Merkmalen der Fachwissenschaft Physik. Diese Fachwissenschaft

- ist eine theoriegeleitete Erfahrungswissenschaft,
- betrachtet die Natur unter bestimmten Aspekten,
- hat einen hohen Grad an Formalisierung und Mathematisierung,
- entwickelt ein spezifisches Methodenrepertoire,
- hat starke Anwendungsbezüge und hohe gesellschaftliche Relevanz und
- unterliegt einem historisch-dynamischen Prozess.

Viele dieser Merkmale teilt die Physik mit anderen, insbesondere naturwissenschaftlichen Fächern, worin der gemeinsame fächerübergreifende Bildungsauftrag begründet ist. Der Ausprägungsgrad der genannten Merkmale unterscheidet die Physik von anderen Fächern. Diese Merkmale der Physik machen den Kern dessen aus, was das Unterrichtsfach zur Allgemeinbildung beiträgt, um den Bildungsauftrag im Sekundarbereich II zur vertieften Allgemeinbildung mit Wissenschaftspropädeutik, Studierfähigkeit und Berufsorientierung zu erfüllen. Hieraus ergeben sich zusammen mit den Vorgaben der Bildungsstandards<sup>1</sup> die Ziele des Physikunterrichts im Sekundarbereich II und die spezifischen Kompetenzen und Inhalte, die im Physikunterricht vermittelt werden. Der so festgelegte Bestand enthält auch die Inhalte und Kompetenzen, die für die Abiturprüfung zur Verfügung stehen müssen.

An authentischen Beispielen kann der Physikunterricht Erfahrungen mit wesentlichen Elementen naturwissenschaftlichen Arbeitens vermitteln, indem von den Lernenden formulierte Vermutungen und Hypothesen in eigenen, auch quantitativ auswertbaren Experimenten überprüft werden. Bei selbstständigem Experimentieren erfahren die Lernenden, wie wesentlich genaues Arbeiten und gewissenhafter Umgang mit Daten sind. Hierbei werden grundlegende fachliche Kriterien zur Bewertung wissenschaftlicher Ergebnisse bereitgestellt und das Verantwortungsbewusstsein der Lernenden gestärkt.

Im Physikunterricht wird in besonderer Weise der messende Zugang zu naturwissenschaftlichen Fragestellungen fokussiert. Die Lernenden erwerben dabei auf Neues übertragbare Erfahrungen im selbstständigen Umgang mit modernen Messmitteln und wesentlichen Verfahren der Darstellung von Messdaten sowie deren Auswertung in relevanten Zusammenhängen. Die in diesem Zusammenhang benötigte Fähigkeit zur Mathematisierung ist nicht nur aus innerfachlicher Notwendigkeit ein wesentlicher Bestandteil des vom Physikunterricht zu erbringenden Bildungsbeitrages, sie ist auch unerlässlich

---

<sup>1</sup> Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020)

als Baustein einer zeitgemäßen und sachgerechten Kommunikationsfähigkeit. Kompetenz in naturwissenschaftlichen Bereichen zeigt sich darüber hinaus durch sachgerechte Verwendung des erworbenen Begriffsinventars bei der Formulierung eigener Ergebnisse, vor allem aber beim Verstehen fachbezogener Texte.

Auf der Grundlage erlebter Phänomene, eigener experimenteller Erfahrungen, eines gesicherten Basiswissens und der Beherrschung grundlegender Fachmethoden einschließlich der erforderlichen Mathematisierung gewinnen die Lernenden im Physikunterricht auch die Erkenntnis, dass die spezifische Art und Weise der physikalischen Naturuntersuchung immer nur aspekthafte Aussagen hervorbringen kann, die mitunter durch andere Betrachtungsweisen ergänzt werden müssen. Dazu kann das Fach Physik an geeigneter Stelle soziale, ökonomische, ökologische und politische Phänomene und Probleme der nachhaltigen Entwicklung thematisieren und so dazu beitragen, wechselseitige Abhängigkeiten zu erkennen und Wertmaßstäbe für eigenes Handeln sowie ein Verständnis für gesellschaftliche Entscheidungen zu entwickeln.

Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Auseinandersetzung mit Aspekten der Quanten- und Atomphysik zu. Zum einen erarbeiten sich die Lernenden hier Kenntnisse mit direktem Anschluss an die moderne Forschung, zum anderen lernen sie in einem aktuellen Gebiet das Wechselspiel zwischen Modellvorstellung, Experiment und Theorie kennen. Sie erfahren dabei exemplarisch, dass es Wissensgebiete gibt, die man sich gedanklich erschließen kann, die aber der unmittelbaren Beobachtung prinzipiell unzugänglich bleiben müssen.

Sowohl bei der Recherche nach Wissensbeständen als auch in besonderem Maße durch Einsatz moderner Messtechnik und durch Computereinsatz bei Auswertungen, numerischen Modellierungen und Simulationen trägt der Physikunterricht zur Auseinandersetzung mit modernen Medien wesentlich bei.

Durch Erfolgserlebnisse bei Problemlösungen trägt der Physikunterricht auch dazu bei, dass sich eine Haltung herausbildet, die lebenslanges Fragen, daraus resultierendes Streben nach lebenslangem Lernen und somit erst Bildung im eigentlichen Sinne ermöglicht.

## 2 Kompetenzorientierter Unterricht

Im Kerncurriculum des Faches Physik werden die Zielsetzungen des Bildungsbeitrags durch verbindlich erwartete Lernergebnisse konkretisiert und als Kompetenzen formuliert. Dabei werden im Sinne eines Kerns die als grundlegend und unverzichtbar erachteten fachbezogenen Kenntnisse und Fertigkeiten vorgegeben.

Kompetenzen weisen folgende Merkmale auf:

- Sie zielen ab auf die erfolgreiche und verantwortungsvolle Bewältigung von Aufgaben und Problemstellungen.
- Sie verknüpfen Kenntnisse, Fertigkeiten und Fähigkeiten zu eigenem Handeln. Die Bewältigung von Aufgaben setzt gesichertes Wissen und die Beherrschung fachbezogener Verfahren voraus sowie die Einstellung und Bereitschaft, diese gezielt einzusetzen.
- Sie stellen eine Zielperspektive für längere Abschnitte des Lernprozesses dar.
- Sie sind für die persönliche Bildung und für die weitere schulische und berufliche Ausbildung von Bedeutung und ermöglichen anschlussfähiges Lernen.

Die erwarteten Kompetenzen werden in Kompetenzbereichen zusammengefasst, die das Fach strukturieren. Aufgabe des Unterrichts im Fach Physik ist es, die Kompetenzentwicklung der Lernenden anzuregen, zu unterstützen, zu fördern und langfristig zu sichern. Dies gilt auch für die fachübergreifenden Zielsetzungen der Persönlichkeitsbildung. Für Berufliche Gymnasien muss durchgängig dem Prinzip der Handlungs- und Berufsorientierung Rechnung getragen werden.<sup>1</sup>

### 2.1 Kompetenzbereiche

Um die Kompetenzentwicklung über die gesamte Dauer des Physikunterrichts geschlossen darzustellen, wird die im Kerncurriculum für das Fach Physik im Sekundarbereich I begonnene kumulative Darstellung von Kompetenzen auch in diesem Kerncurriculum weitergeführt. Die von den Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife geforderten Kompetenzen, auch im Bereich Sachkompetenz, werden dabei von der Summe der Kompetenzen in diesem Kerncurriculum vollständig abgedeckt.

---

<sup>1</sup> Vgl. Schulisches Curriculum Berufsbildende Schulen (SchuCu-BBS): <https://schucu-bbs.nline.nibis.de>

Die in den Kapiteln 3.1 bis 3.3 aufgeführten erwarteten Kompetenzen lassen sich folgenden Kompetenz- bzw. Inhaltsbereichen zuordnen:

Prozessbezogene Kompetenzbereiche	Inhaltsbereiche
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Physikalisch argumentieren</li> <li>• Probleme lösen</li> <li>• Planen, experimentieren, auswerten</li> <li>• Mathematisieren</li> <li>• Mit Modellen arbeiten</li> <li>• Erkenntniswege der Physik beschreiben</li>   <li>• Kommunizieren</li> <li>• Dokumentieren</li>   <li>• Bewerten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dynamik (Einführungsphase)</li> <li>• Elektrizität</li> <li>• Schwingungen und Wellen</li> <li>• Quantenobjekte</li> <li>• Atomhülle</li> <li>• Atomkern</li> </ul>

Das zuständige schulische Fachgremium<sup>1</sup> legt auf der Grundlage des Kerncurriculums einen schuleigenen Arbeitsplan fest (vgl. Kapitel 5). Im ersten Jahr der Qualifikationsphase müssen mindestens die Themenbereiche *Elektrizität* und *Schwingungen und Wellen* behandelt werden.

## 2.2 Kompetenzentwicklung

Aufgabe des Physikunterrichts im Sekundarbereich II ist es, die im Sekundarbereich I begonnene Kompetenzentwicklung der Lernenden aufzunehmen, weiter zu entwickeln und dabei ein möglichst hohes Maß an Selbstständigkeit bei der Bearbeitung von Fragestellungen und möglichst weitgehende Unabhängigkeit von vorstrukturierenden Hilfen anzustreben. Weil Inhalte und Verfahren in der Regel zunächst nur in denjenigen Zusammenhängen erinnert werden können, in denen sie erstmals erlernt wurden, ist es Aufgabe kompetenzorientierten Unterrichts, durch variantenreiches Üben und zunehmend offene Anwendungen die Inhalte aus dieser engen Bindung zu lösen. Der Unterricht sollte von der Perspektive der Lernenden ausgehen und an deren Interessenlagen und Lernvoraussetzungen orientiert sein.

Sachgerecht angelegter Physikunterricht lässt Lernende im Unterricht physikalische Situationen erkunden, bietet ihnen in verschiedenen Varianten physikalische Erfahrungen, verhilft auf diese Weise zum Erwerb eines tragfähigen Begriffsnetzes und strebt Sicherheit beim Lösen physikalischer Aufgaben und Probleme an.

Der Erwerb eines gesicherten Fachwissens wird gleichermaßen durch wiederholte Auseinandersetzung mit konkreten Beispielen sowie durch Einordnung in fachlogische Strukturen gefördert. Mathematische Methoden werden gegenüber dem Sekundarbereich I in zunehmendem Maße, nie aber nur um ihrer selbst willen verwendet. Die Gefahr eines unverstandenen und inhaltsleeren Umgangs mit

<sup>1</sup> An allgemein bildenden Schulen ist die Fachkonferenz und an Beruflichen Gymnasien die Fachgruppe zuständig.

mathematischen Formalismen wird durch Konkretisieren und physikalisches Interpretieren von Diagrammen und Gleichungen vermindert.

Zum Erwerb sowohl prozess- als auch inhaltsbezogener Kompetenzen werden Unterrichtsformen mit vielfältigen Methodenelementen situationsangepasst eingesetzt. Dabei sind Gruppen- und Projektarbeiten, insbesondere geeignete Schülerexperimente, unverzichtbar, um selbstständiges Erkunden, Problemlösen, Dokumentieren und Präsentieren zu fördern. Der Grad der Offenheit der Arbeitsaufträge wird dem Lernstand der Lerngruppe angepasst: in bekanntem Zusammenhang eher offen, in komplexen Zusammenhängen eher strukturiert.

Fehler oder fachlich nicht korrekte Ausdrucksweisen sind natürliche Begleiterscheinungen des Lernens und können konstruktiv für den Lernprozess genutzt werden. Damit Lernenden offen und produktiv mit eigenen Fehlern umgehen können, sind Lern- und Prüfungssituationen im Unterricht klar voneinander zu trennen.

Übungs- und Wiederholungsphasen sind zeitlich und inhaltlich so zu planen, dass bereits erworbene Kompetenzen durch Anwendung des Gelernten in variierenden Zusammenhängen langfristig gesichert werden. Dabei ist zu beachten, dass Lernende auch im Sekundarbereich II den bereits durchlaufenen Kompetenzerwerb in neuem Zusammenhang nochmals, wenn auch schneller, durchlaufen müssen, um wirksam zu lernen.

## **Einführungsphase**

Neben der Erarbeitung der Inhalte aus der Dynamik besteht die besondere Aufgabe des Physikunterrichts in der Einführungsphase darin, die inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen unterschiedlich vorgebildeter Lernender zu erweitern, zu festigen und zu vertiefen, damit die Lernenden am Ende der Einführungsphase über die für eine erfolgreiche Teilnahme am Unterricht in der Qualifikationsphase notwendigen Kompetenzen verfügen.

Damit hat der Unterricht folgende Ziele:

- einführen in die Arbeitsweisen der Qualifikationsphase,
- Einblicke gewähren in das unterschiedliche Vorgehen der Kurse auf grundlegendem und erhöhtem Anforderungsniveau,
- Entscheidungshilfen geben bei der Fächerwahl in der Qualifikationsphase,
- Kenntnisse fachlich ausdifferenzieren,
- ausdifferenzieren der verbalen und mathematischen Beschreibung von Zusammenhängen physikalischer Größen,
- Interesse wecken an physikalischen Betrachtungsweisen durch Behandlung altersgemäßer Kontexte, auch mit Bezug zur Bildung für nachhaltige Entwicklung,
- Auseinandersetzung mit Bewertungsansätzen anregen, die die Fachgrenzen überschreiten,
- physikalische Arbeitsmethoden vertiefend einüben,
- ausgewählte Fachinhalte quantitativ behandeln,
- Lücken schließen, die sich durch die unterschiedlichen Bildungsgänge ergeben haben.

Zusätzlich zu den verpflichtenden Inhalten wählt das zuständige schulische Fachgremium mindestens ein Wahlmodul aus (vgl. Kapitel 3.2) oder erarbeitet ein eigenes Wahlmodul unter Berücksichtigung oben angegebener Aspekte.

## **Qualifikationsphase**

Aufgabe des Unterrichts in der Qualifikationsphase ist es, bei den Lernenden den Aufbau prozessbezogener und inhaltsbezogener Kompetenzen zu ermöglichen. Viele der prozessbezogenen Kompetenzen sind in Kapitel 3.3 dieses Kerncurriculums bereits konkretisiert und Inhalten zugeordnet. Diese Zuordnung ist allerdings nicht vollständig. Wo sie nicht vorgenommen wurde, ist es Aufgabe der Lehrkräfte, prozessbezogene Kompetenzen selbst Inhalten zuzuordnen. Dabei besteht die Möglichkeit, besondere Interessen von Lernenden und Lehrkräften und ggf. auch regionale Besonderheiten zu berücksichtigen.

## **Auswahl der Inhalte im Kerncurriculum**

Ein wesentliches Ziel des Unterrichts in der Einführungs- und Qualifikationsphase ist der Aufbau von prozessbezogenen Kompetenzen. Diese können nur im Zusammenhang mit ausgewählten physikalischen Inhalten erworben werden.

Bei der in Kapitel 3.3 vorgenommenen Auswahl verbindlicher Inhalte ist einerseits darauf geachtet worden, dass die Vorgaben der Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife erfüllt werden, andererseits sind die Inhalte so aufeinander abgestimmt, dass jeweils für spätere Bausteine erforderliche Vorkenntnisse bereitstehen. Die Auswahl verbindlicher Inhalte wurde so getroffen, dass für die Planung eines Durchganges durch den Sekundarbereich II noch Freiräume bestehen bleiben.

Um die Gestaltung anspruchsvoller und gleichzeitig variantenreicher Prüfungsaufgaben für eine zentrale Abiturprüfung zu ermöglichen, wurden zusätzlich zu den Inhalten zum Teil auch spezielle Experimente festgelegt.

Die Anordnung der Inhalte im Kerncurriculum legt nicht notwendig die Reihenfolge der Behandlung im Unterricht fest. Durch vorausschauende Unterrichtsplanung kann man bei Beschränkung auf diesen Kanon Zeitfenster schaffen. Diese können genutzt werden,

- um weitere Anwendungsbezüge herzustellen, z. B. „Physik und Medizin“, Behandlung physikalischer Aspekte in der Technik,
- um Pflichtstoffe vertiefend zu behandeln, z. B. genauere Betrachtung von Erkenntniswegen, historischen Bezügen, vertiefender Mathematisierung, Modellbildung,
- um das in den Schuljahrgängen 5 - 10 angelegte Energiekonzept mit den Inhalten dieses Kerncurriculums weiter zu entwickeln,
- um im Kerncurriculum nicht enthaltene Themenbereiche zu behandeln, z. B. Grundzüge der Relativitätstheorie, Elementarteilchen, Kosmologie und
- um die experimentellen Kompetenzen der Lernenden zu vertiefen.

## Weitere Aspekte der Unterrichtsgestaltung

Der Umgang mit den in der Abiturprüfung zugelassenen Hilfsmitteln ist von Beginn des Unterrichts in der Einführungsphase an einzuüben. Neben der Verwendung einer Formelsammlung ist dabei besonderer Wert auf die sachgerechte Verwendung des eingeführten Rechenwerkzeugs zu legen. Möglichst in Abstimmung zwischen den zuständigen schulischen Gremien in den Fächern Mathematik und Physik ist ein verbindliches Verfahren für die Dokumentation von Arbeitsschritten und Ergebnissen festzulegen und einzuüben, wenn diese mit elektronischen Werkzeugen gewonnen wurden. Dieses Verfahren muss so gewählt sein, dass es wesentliche Überlegungen, Lösungsschritte und eine ausreichende Zahl von Zwischenergebnissen enthält. Ein Beispiel für ein mögliches Verfahren wird im Anhang A 2 gegeben.

Zu den prozessbezogenen Kompetenzen gehört der sachgerechte Umgang mit Messunsicherheiten. Im Anhang A 3 ist ein Beispiel dafür angegeben.

Die Nutzung von Termumformungen für deduktive Schlüsse erfordert die Fähigkeit, diese auch ohne elektronische Hilfsmittel zu bewältigen.

Bei der Verwendung der Zeigerdarstellung empfiehlt es sich, diese bereits zu Beginn des Kurses über Schwingungen als bereichsübergreifendes Konzept einzuführen und sie auch bei der Behandlung der Quantenphysik zu verwenden.

## Kursarten und Anforderungsniveaus

Das Fach Physik kann in der Qualifikationsphase wie folgt angeboten werden:

- als *fünfstündiges Prüfungsfach* auf erhöhtem Anforderungsniveau,
- als *dreistündiges Fach* auf grundlegendem Anforderungsniveau,
- an Beruflichen Gymnasien, dem Abendgymnasium und dem Kolleg  
als *zweistündiges Ergänzungsfach* auf grundlegendem Anforderungsniveau.

Die Ausführungen für die Qualifikationsphase beziehen sich nicht auf das zweistündige Ergänzungsfach. In diesem Fall trifft das zuständige schulische Fachgremium eine Auswahl aus den vorgegebenen Inhaltsbereichen. Ziel des zweistündigen Unterrichts ist es, die Allgemeinbildung der Lernenden über die Physik aufzubauen bzw. zu erweitern.

Die Kursarten in der Qualifikationsphase haben unterschiedliche Zielsetzungen. Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau dienen der Vermittlung einer wissenschaftspropädeutisch orientierten Grundbildung, die Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau der systematischen, vertieften und reflektierten wissenschaftspropädeutischen Arbeit.

Allen Kursarten gemeinsam ist die Förderung und Entwicklung der in den Kapiteln 3.1 und 3.3 beschriebenen Kompetenzen als Teil der Allgemeinbildung und Voraussetzung für Studium und Beruf.

Die Unterschiede zwischen den Kursarten bestehen insbesondere in folgenden Aspekten:

- Umfang bzw. Spezialisierungsgrad bezüglich des Fachwissens, des Experimentierens und der Theoriebildung,
- Komplexität der Sachzusammenhänge sowie der physikalischen Inhalte, Theorien und Modellvorstellungen,
- Anspruch an die verwendete Fachsprache,
- Grad der Mathematisierung physikalischer Sachverhalte,
- Grad der Strukturierung von Aufgabenstellungen.

### **Zur Rolle von Aufgaben**

Aufgaben haben verschiedene Funktionen. Sie können im Unterricht eingesetzt werden zum Lernen, zum Üben, zur Überprüfung des Kompetenzerwerbs (Eigen- und Fremddiagnostik) und zur Leistungsbewertung. Entsprechend ihrer Funktion müssen sie unterschiedlich gestaltet werden.

In der Einstiegsphase können Aufgaben eine Fragehaltung und ein Problembewusstsein bei den Lernenden erzeugen.

In der Erarbeitungsphase helfen Aufgaben den Lernenden beim Erfassen neuer Begriffe, Gesetze, Konzepte und Verfahren. Dabei müssen diese Aufgaben in angemessener Weise strukturiert sein und sich sowohl auf das Vorwissen als auch auf die jeweils anzustrebende Kompetenz beziehen. Rückmeldungen über mögliche Verständnisschwierigkeiten oder Lösungswege dienen in dieser Phase als Orientierung und unterstützen so den Kompetenzerwerb. Beispiele für zum Kompetenzerwerb geeignete Lernaufgaben findet man u. a. auf der Seite des IQB<sup>1</sup>. Sie beziehen sich auf die in den Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife vorgeschriebenen Kompetenzformulierungen, gehen aber im Einzelfall von länderspezifischen Inhaltslisten aus, die nicht allgemein verbindlich sind.

In der Übungsphase sollen Lernergebnisse gesichert, vertieft und transferiert werden. Die hier verwendeten Aufgaben ermöglichen variantenreiches Üben in leicht veränderten Zusammenhängen. Sie lassen nach Möglichkeit unterschiedliche Lösungswege zu und fordern zum kreativen Umgang mit der Physik heraus. Fehlerhafte Lösungen und Irrwege können dabei vielfach als neue Lernanlässe genutzt werden.

Die Auseinandersetzung mit Lernaufgaben unterstützt die Lernenden daher wesentlich beim Kompetenzaufbau. Ausgehend vom Leistungsvermögen der Lernenden sind Aufgaben so zu konstruieren, dass sowohl prozessbezogene als auch inhaltsbezogene Kompetenzen Anwendung finden bzw. erworben werden können. Besondere Möglichkeiten zur Förderung prozessbezogener Kompetenzen ergeben sich durch Aufgaben, die sich auf ein Schülerexperiment beziehen. Die Lernenden erleben ihren Kompetenzzuwachs bei der Auseinandersetzung mit physikalischen Sachverhalten und entwickeln langfristig eine positive Einstellung gegenüber der Physik.

---

<sup>1</sup> [https://www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi\\_allg/physik/](https://www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi_allg/physik/)

Bei Aufgaben zum Kompetenznachweis ist darauf zu achten, dass die gestellten Anforderungen für die Lernenden im Vorfeld transparent sind. Dies geschieht insbesondere durch die Verwendung geeigneter Operatoren (siehe Anhang A 1) bei der Formulierung von Aufgaben. Art und Inhalt der Aufgabenstellungen sind entsprechend dem unterrichtlichen Vorgehen anzulegen, dabei kommt es auf ein ausgewogenes Verhältnis von inhaltsbezogenen und prozessbezogenen Anforderungen an. Dies ist in der Regel in einem experimentellen Kontext oder durch Arbeit an Texten oder anderen Medien zu erreichen, wenn dabei der Unterrichtsgegenstand von verschiedenen Seiten aus betrachtet werden kann. Bei der Planung ist zu berücksichtigen, dass die Bearbeitung von Aufgaben zur Überprüfung prozessbezogener Kompetenzen einen hohen Zeitanteil beansprucht. Dies trifft in besonderem Maße zu, wenn Schülerexperimente zugrunde gelegt werden.

Bei einer so gestalteten Leistungsaufgabe sind entsprechend Abschnitt 3.1.1 der Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife alle drei Anforderungsbereiche (AFB) zu berücksichtigen, dabei liegt der Schwerpunkt im AFB II. Darüber hinaus sind die Anforderungsbereiche I und III in einem angemessenen Verhältnis zu berücksichtigen, wobei Anforderungsbereich I stärker als III gewichtet werden sollte.

**Anforderungsbereich I** umfasst das Wiedergeben von Sachverhalten und Kenntnissen im gelernten Zusammenhang sowie das Anwenden und Beschreiben geübter Arbeitstechniken und Verfahren.

**Anforderungsbereich II** umfasst das selbstständige Auswählen, Anordnen, Verarbeiten, Erklären und Darstellen bekannter Sachverhalte unter vorgegebenen Gesichtspunkten in einem durch Übung bekannten Zusammenhang und das selbstständige Übertragen und Anwenden des Gelernten auf vergleichbare neue Zusammenhänge und Sachverhalte.

**Anforderungsbereich III** umfasst das Verarbeiten komplexer Sachverhalte mit dem Ziel, zu selbstständigen Lösungen, Gestaltungen oder Deutungen, Folgerungen, Verallgemeinerungen, Begründungen und Wertungen zu gelangen. Dabei wählen die Lernenden selbstständig geeignete Arbeitstechniken und Verfahren zur Bewältigung der Aufgabe, wenden sie auf eine neue Problemstellung an und reflektieren das eigene Vorgehen.

Zu beachten ist, dass es keine Zuordnung von Operatoren zu Anforderungsbereichen gibt. Vielmehr kann jeder Operator Anforderungen in jedem Anforderungsbereich stellen.

### **2.3 Beitrag des Faches Physik zur Bildung in der digitalen Welt**

Der Physikunterricht ist neben der experimentellen Orientierung in stärkerem Maße mathematisch geprägt als andere Unterrichtsfächer. In beiden Feldern kann er daher besondere Beiträge zur Bildung in der digitalen Welt leisten.

Im experimentellen Bereich gehören dazu die zunehmend selbstständige Auswahl und Verwendung auch digitaler Messinstrumente, die rechnergestützte Auswertung von Daten mit geeignet gewählten Werkzeugen und auch der kritische Blick auf die Güte der erzielten Ergebnisse.

Im mathematischen Bereich gehört hierzu der reflektierte Umgang mit Computer-Algebra-Systemen (CAS), aber auch als besonderer Beitrag des Faches Physik der Entwurf und die Ausführung von Algorithmen im Differenzenverfahren mittels eines geeigneten Werkzeugs.

Zum naturwissenschaftlichen Unterricht gehören auch die Informationsbeschaffung und -auswertung sowie die altersgerechte Darstellung und Präsentation von Informationen. Indem die Lernenden dazu angehalten werden, auch im Physikunterricht die Medienvielfalt zu nutzen, leistet das Fach Physik einen Beitrag zum kompetenten Umgang mit Medien. In der Auseinandersetzung mit Medien eröffnen sich den Lernenden erweiterte Möglichkeiten der Wahrnehmung, des Verstehens und Gestaltens. Für den handelnden Wissenserwerb sind Medien daher selbstverständlicher Bestandteil des Unterrichts. Sie unterstützen die individuelle und aktive Wissensaneignung und fördern selbstgesteuertes, kooperatives und kreatives Lernen. Medien, insbesondere die digitalen Medien, sind wichtiges Element zur Erlangung übergreifender Methodenkompetenz. Sie dienen Lernenden dazu, sich Informationen zu beschaffen, zu interpretieren und kritisch zu bewerten und fördern die Fähigkeit, Aufgaben und Problemstellungen selbstständig und lösungsorientiert zu bearbeiten.

Die Kompetenzen aus der KMK-Strategie zur Bildung in der digitalen Welt sind, soweit sie im Physikunterricht relevant sind, in die Kompetenztabellen in Kapitel 3.1 eingearbeitet.

## **2.4 Basiskonzepte**

Die inhaltlichen Vorgaben für den Physikunterricht in Niedersachsen folgen der gewohnten fachlichen Systematik. Deren Eignung zur Gliederung des Fachgebiets hat sich bewährt. Im Unterricht sollen an den fachsystematisch eingeordneten Inhalten zuallererst prozessbezogene Kompetenzen erworben werden, darüber hinaus ist anzustreben, dass Lernen möglichst oft auch einen Kontextbezug hat. Wegen der durch diese Forderungen bedingten Breite fachlicher Anforderungen muss das Lernen im Fach Physik immer exemplarisch sein. Damit das erfolgreich gelingen kann, ist es erforderlich, Lerninhalte wo immer möglich miteinander zu vernetzen.

Die vier in den Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife formulierten Basiskonzepte ermöglichen eine Vernetzung von Lerngegenständen und deren Betrachtung aus verschiedenen Perspektiven. Damit erleichtern sie kumulatives Lernen, den Aufbau von strukturiertem Wissen und die Erschließung neuer Inhalte. Basiskonzepte müssen dazu in Lehr-Lernprozessen wiederholt thematisiert werden. Den Lernenden wird aufgezeigt, dass diese grundlegenden Konzepte in vielen verschiedenen Lernbereichen einsetzbar sind und einen systematischen Wissensaufbau und somit den Erwerb eines strukturierten Wissens unterstützen. In der folgenden Beschreibung der Basiskonzepte werden dafür Beispiele genannt.

### **Erhaltung und Gleichgewicht**

Viele Sachverhalte und Vorgänge lassen sich in der Physik durch ein Denken in Bilanzen oder Gleichgewichten beschreiben und erklären. Hierbei spielen neben statischen und dynamischen Gleichgewichtsbedingungen auch Erhaltungssätze wie der Energieerhaltungssatz eine wesentliche Rolle. Das

Basiskonzept Erhaltung und Gleichgewicht verbindet Themen wie z. B. das Wien-Filter, den Hall-Effekt, die Gegenfeldmethode bei der Fotozelle und den Franck-Hertz-Versuch, die Absorption und Emission von Licht, die charakteristische Röntgenstrahlung oder die Kernstrahlung.

### **Superposition und Komponenten**

Das Konzept der Superposition bildet eine wesentliche Grundlage der analytisch-synthetischen Vorgehensweise in der Physik. Die Überlagerung gleicher physikalischer Größen oder die Zerlegung von physikalischen Größen in Komponenten wird z. B. bei der Kräfteaddition, bei der Vektorsumme von Feldstärken, bei der Bewegung von geladenen Teilchen in Feldern, beim Induktionsgesetz oder bei der Polarisation verwendet. Darüber hinaus ist Superposition ein zentraler Begriff in der Interferenzoptik und der Quantenphysik, der insbesondere bei der Nutzung der Zeigerdarstellung sein didaktisches Potenzial entfaltet.

### **Mathematisieren und Vorhersagen**

Zentrales Merkmal der Physik ist es, Vorgänge und Zusammenhänge mathematisch zu beschreiben – grafisch (insbesondere in der Zeigerdarstellung) und sowohl analytisch geschlossen als auch durch Differenzgleichungen – und daraus Erkenntnisse und Vorhersagen zu erhalten. Die Beschreibung von Größenabhängigkeiten erfolgt verbal und in Gestalt von Gleichungen und Funktionen. In den Kompetenztabellen, insbesondere zu *Mathematisieren* und *Mit Modellen arbeiten* werden die zu behandelnden funktionalen Zusammenhänge beschrieben. Die physikalische Interpretation von gegebenenfalls grafisch ermittelten Ableitungen und Integralen sowie im Zusammenhang damit auch die Anwendung von Differenzenverfahren eröffnet weitere Möglichkeiten für die Erkenntnisgewinnung, z. B. bei dem Lade- und Entladevorgang eines Kondensators und beim Zerfallsgesetz.

### **Zufall und Determiniertheit**

In der Physik spielen Fragen nach Zufall und Determiniertheit sowohl auf einer philosophischen als auch auf einer praktischen Ebene eine Rolle.

Determiniertheit ist in allen Bereichen der Physik die Grundvoraussetzung für eine Beschreibung von Phänomenen durch Gesetzmäßigkeiten, etwa für die Vorhersage von Ereignissen oder für die Modellierung durch Ausgleichskurven. Zufall tritt in unterschiedlicher Weise auf, z. B. als Messunsicherheit oder als statistische Verteilung physikalischer Größen, insbesondere in der Quantenphysik.

In der Atomphysik ist z. B. bei einer Gasentladungsröhre der Zeitpunkt der Emission eines Photons durch ein einzelnes Atom zufällig, bei einer festen angelegten Spannung stellt sich aber dennoch eine eindeutig vorhersagbare Strahlungsleistung ein. Am Beispiel der Quantenphysik kann zwischen der prinzipiellen Nichtdeterminiertheit von Messergebnissen an einzelnen Quantenobjekten und der Determiniertheit von Verteilungen der Nachweiswahrscheinlichkeit durch die Versuchsbedingungen unterschieden werden. Die Zeigerdarstellung ist dabei ein geeignetes Mittel, Wahrscheinlichkeitsamplituden zu handhaben.

### 3 Erwartete Kompetenzen

#### 3.1 Prozessbezogene Kompetenzen

In der horizontalen Anordnung der folgenden Tabellen werden die prozessbezogenen Kompetenzen in ihrer Progression dargestellt. Die Darstellung erfolgt daher so, dass in der ersten Spalte die am Ende der Einführungsphase abgesicherten Kompetenzen abgedruckt sind. In der rechten Spalte stehen die in der Qualifikationsphase hinzutretenden Kompetenzen oder Erweiterungen.

##### Physikalisch argumentieren

Physikalische Argumentation ist dadurch gekennzeichnet, dass ein sachbezogenes Vokabular verwendet wird und festgelegte Regeln sowie ein gesicherter Wissensbestand über die Qualität von Argumenten entscheiden helfen. Vorliegende Fragen und Vermutungen werden durch Anwendung weiterer Darstellungselemente (insbesondere von Graphen, fachsprachlichen Formulierungen von Zusammenhängen und schließlich Gleichungen) sowie durch die Durchführung hypothesengeleiteter Experimente einer rationalen Beantwortung zugänglich gemacht. Auch im Sekundarbereich II verdient der Übergang von der Alltagssprache zur Fachsprache noch Aufmerksamkeit, der Wechsel zwischen Darstellungen und Sprachebenen muss weiterhin geübt werden.

16

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Lernenden ...	Die Lernenden ...
<ul style="list-style-type: none"><li>• geben ihre erworbenen Kenntnisse wieder und nutzen erlerntes Vokabular.</li><li>• verwenden die erlernte Fachsprache zunehmend sicher und wählen die Sprachebene bewusst aus.</li><li>• trennen physikalische Aspekte selbstständig von außerphysikalischen.</li><li>• unterwerfen Vermutungen einer fachlich-kritischen Prüfung.</li><li>• argumentieren mithilfe von Diagrammen linearer Funktionen und einfacher Potenzfunktionen.</li><li>• setzen Darstellungen situationsgerecht ein.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• argumentieren insbesondere mithilfe von Kräften und Energiebilanzen.</li><li>• verwenden die erlernte Fachsprache sicher und wählen die Sprachebene bewusst aus.</li><li>• identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten.</li><li>• unterwerfen Argumentationen einer fachlich-kritischen Prüfung.</li><li>• formulieren Hypothesen und überprüfen sie mithilfe von Experimenten.</li><li>• argumentieren zusätzlich mithilfe der Diagramme von Winkelfunktionen bzw. der Zeigerdarstellung, den Gleichungen linearer Funktionen, einfacher Potenzfunktionen sowie Exponentialfunktionen und ziehen zur Argumentation Ableitung und Flächeninhalt heran.</li></ul>

## Probleme lösen

Die Fähigkeit, Probleme zu lösen, ist sehr anspruchsvoll. Sie entwickelt sich nur, wenn die Lernenden sich bei der Problemlösung immer wieder als erfolgreich erleben. Zur Unterstützung der Entwicklung dieser Fähigkeit können genaue Anleitung und feste Strukturierung hilfreich sein, wenn die Probleme aus Sicht der Lernenden neuartig oder komplex sind. Offene Problemstellungen können eher in bekannten Zusammenhängen für Lernende eine angemessene Herausforderung darstellen. Für die Gestaltung von Unterricht ergibt sich daraus die Forderung nach einem kumulativen Aufbau auch in den einzelnen Unterrichtseinheiten mit zunehmender Öffnung bei wachsendem Kenntnisstand.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Lernenden ...	Die Lernenden ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ergänzen fehlende Informationen selbstständig und ziehen Schulbuch und Formelsammlung zur Problemlösung heran.</li> <li>• wählen geeignete Quellen selbst aus.</li> <li>• führen selbstverantwortlich ihre Notizen.</li> <li>• setzen ihre Kenntnisse über nichtlineare Zusammenhänge ein.</li> <li>• verwenden das eingeführte elektronische Rechenwerkzeug.</li> <li>• erkennen bekannte Zusammenhänge auch in einem komplexeren Umfeld.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wählen zur Problemlösung in unterschiedlichen Quellen (analog und digital) passende Informationen aus und prüfen die Plausibilität und Relevanz.</li> <li>• nutzen Termumformungen für Deduktionen.</li> <li>• nutzen Experimente zur Problemlösung und schließen induktiv.</li> <li>• wenden Kenntnisse auf Alltagssituationen und technische Anwendungen an.</li> <li>• übertragen Kenntnisse analog auf andere Situationen und verwenden dazu auch einfache mathematische Modelle.</li> <li>• <b>nur eA:</b> verwenden dazu einfache numerische Modelle.</li> </ul>

## Planen, experimentieren, auswerten

Wie die Problemlösefähigkeit muss auch die Experimentierfähigkeit entwickelt werden. In einem neuen Sachgebiet sollten die Lernenden in der Regel zunächst angeleitet experimentieren. Mit zunehmender Sicherheit werden Fragestellungen und Anleitungen schrittweise offener, um in einem neuen Sachgebiet wieder verengt zu werden. Sie sind dabei stets so zu gestalten, dass die Lernenden Experimente als Mittel erleben, wesentliche Fragen zu beantworten oder neue Phänomene kennenzulernen. Arbeitsaufträge müssen so angelegt sein, dass die Lernenden den erlebten Erfolg in erster Linie dem eigenen Handeln zuschreiben können. Insbesondere die selbständige Nutzung digitaler Messwerkzeuge und die selbständige Durchführung von rechnergestützten Auswertungen sollen sich für die Lernenden zu sicher beherrschten Methoden entwickeln.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Lernenden ...	Die Lernenden ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• experimentieren zunehmend selbstständig.</li> <li>• planen einfache Experimente zur Untersuchung ausgewählter, auch eigener Fragestellungen selbst und achten darauf, jeweils nur einen Parameter zu variieren.</li> <li>• legen selbstständig geeignete Messtabellen an.</li> <li>• fertigen auch nichtlineare Graphen an, nutzen das eingeführte elektronische Rechenwerkzeug zur Ermittlung funktionaler Zusammenhänge und erstellen eine geeignete Dokumentation der Arbeitsschritte.</li> <li>• fertigen bei Bedarf Versuchsprotokolle selbstständig an.</li> <li>• tragen Ergebnisse von z. B. arbeitsteilig ausgeführten Experimenten sachgerecht und adressatenbezogen vor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bauen Versuchsanordnungen auch unter Verwendung von digitalen Messwerterfassungssystemen und Oszilloskopen ggf. nach Anleitung auf.</li> <li>• planen Experimente zur Untersuchung ausgewählter, auch eigener Fragestellungen selbst und führen diese sachgerecht durch.</li> <li>• nutzen zur Auswertung von Messergebnissen das eingeführte elektronische Rechenwerkzeug und dokumentieren ihr Vorgehen.</li> <li>• dokumentieren Aufbau, Durchführung, Beobachtung und Auswertung von Experimenten selbstständig.</li> </ul>

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Lernenden ...	Die Lernenden ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• schätzen die absolute Unsicherheit beim Messen einzelner Größen ab.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geben Messwerte mit einer reflektierten Anzahl signifikanter Stellen an.</li> <li>• geben das Ergebnis einer daraus berechneten Größe auf Aufforderung mit einer sinnvollen Anzahl signifikanter Stellen an.</li> <li>• <b>nur eA:</b> schätzen die Messunsicherheit eines Messergebnisses aus den Versuchsbedingungen ab und berechnen daraus die relative Messunsicherheit einer gemessenen Größe.</li> <li>• <b>nur eA:</b> schätzen eine Grenze für die relative und die absolute Messunsicherheit einer aus Messdaten berechneten Größe sachgerecht ab.</li> <li>• erklären bekannte Messverfahren sowie die Funktion einzelner Komponenten eines Versuchsaufbaus.</li> <li>• erklären bekannte Auswerteverfahren.</li> </ul>

## Mathematisieren

Die Physik unterscheidet sich von den anderen Naturwissenschaften unter anderem durch ihren höheren Grad der Mathematisierung. Es ist eine wesentliche Aufgabe des Physikunterrichts im Sekundarbereich II, die Lernenden beim Erwerb mathematischer Verfahren anzuleiten. In jedem Fall wird dabei der Weg über eine sprachliche Beschreibung und einfache Diagramme zur Angabe von Gleichungen und deren anschließender Interpretation führen. In einem neuen Fachgebiet müssen die Lernenden die zum Erwerb einer Kompetenz erforderlichen Schritte jeweils wieder neu und wiederholt durchlaufen. Termumformungen und das Lösen von Gleichungen sind immer dann Gegenstand des Physikunterrichtes, wenn dies unter physikalischen Gesichtspunkten sinnvoll ist. Allerdings erfordert die Nutzung von Termumformungen für deduktive Schlüsse die Fähigkeit, diese sowohl mit als auch ohne elektronische Hilfsmittel zu bewältigen. Die rechnergestützte Auswertung von Differenzgleichungen ermöglicht einen Zugang zu numerischen Verfahren.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Lernenden ...	Die Lernenden ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• verwenden die wissenschaftliche Notation für Zahlenangaben und Vorsilben von Einheiten.</li> <li>• verwenden Größen und Einheiten und führen erforderliche Umrechnungen durch.</li> <li>• wechseln zwischen sprachlicher, grafischer und algebraischer Darstellung eines Zusammenhanges.</li> <li>• fertigen Grafen zu beliebigen Zusammenhängen an.</li> <li>• fertigen Ausgleichskurven zu Messdaten an und erläutern daran den Einfluss von Messunsicherheiten.</li> <li>• ermitteln lineare, quadratische und antiproportionale Zusammenhänge aus Messdaten – auch mithilfe des eingeführten elektronischen Rechenwerkzeugs, dokumentieren ihre Arbeitsschritte und begründen ihre Entscheidungen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verwenden physikalische Symbole sachgerecht.</li> <li>• entnehmen grafischen Darstellungen und Termen die physikalischen Sachverhalte auch im Zusammenhang mit Ableitung und Fläche.</li> <li>• wählen geeignete Ausgleichskurven begründet aus.</li> <li>• ermitteln zusätzlich exponentielle Zusammenhänge und Zusammenhänge die Quadratwurzeln enthalten (<b>nur eA</b>: sowie umgekehrt quadratische Zusammenhänge und exponentielle Zusammenhänge zur Basis e) mithilfe des eingeführten elektronischen Rechenwerkzeugs.</li> </ul>

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Lernenden ...	Die Lernenden ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• schätzen die absolute Unsicherheit beim Messen einzelner Größen ab.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• geben Messwerte mit einer reflektierten Anzahl signifikanter Stellen an.</li> <li>• geben das Ergebnis einer daraus berechneten Größe auf Aufforderung mit einer sinnvollen Anzahl signifikanter Stellen an.</li> <li>• <b>nur eA:</b> schätzen die Messunsicherheit eines Messergebnisses aus den Versuchsbedingungen ab und berechnen daraus die relative Messunsicherheit einer gemessenen Größe.</li> <li>• <b>nur eA:</b> schätzen eine Grenze für die relative und die absolute Messunsicherheit einer aus Messdaten berechneten Größe sachgerecht ab.</li> <li>• nutzen funktionale Zusammenhänge, Gleichungen und Termumformungen für deduktive Schlüsse und Begründungen.</li> <li>• dokumentieren Herleitungen sachgerecht.</li> <li>• stellen Zusammenhänge in Form von Funktionsgleichungen dar.</li> <li>• <b>nur eA:</b> stellen Zusammenhänge in Form von Differenzgleichungen dar und modellieren einfache Prozesse damit.</li> <li>• verwenden die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung zur mathematischen Beschreibung sowohl für Wellen als auch für Quanten.</li> <li>• <b>nur eA:</b> interpretieren das Quadrat der resultierenden Zeigerlänge oder das Quadrat der Amplitude der resultierenden Sinuskurve als Maß für die Nachweiswahrscheinlichkeit für einzelne Quantenobjekte.</li> </ul>

## Mit Modellen arbeiten

Physikalische Probleme werden durch Modellieren und Idealisieren einer Bearbeitung zugänglich gemacht. Modelle können dabei gegenständlich, ikonisch, grafisch oder mathematisch sein. Beispiele aus dem Sekundarbereich I sind das Kern-Hülle-Modell des Atoms, das Modell der Elementarmagnete und das im Chemieunterricht eingeführte Teilchenmodell als ikonische Modelle, Energieflussdiagramme als grafische Modelle. Im Unterricht im Sekundarbereich II gehört zu den mathematischen Modellen auch die Zeigerdarstellung. An Beispielen erkennen die Lernenden die Prognosefähigkeit von Modellen und deren Grenzen. Erst fortgeschrittene Lernende sind dabei in der Lage, über die Unterschiede zwischen Modell und Realität zu reflektieren.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Lernenden ...	Die Lernenden ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen Zusammenhänge in Form von grafischen Darstellungen dar.</li> <li>• überprüfen Hypothesen an ausgewählten Beispielen durch selbst entworfene Experimente.</li> <li>• ziehen Modellvorstellungen als Hilfsmittel zur Problemlösung und Formulierung von Hypothesen heran.</li> <li>• beschreiben Idealisierungen in verschiedenen Situationen.</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• unterscheiden zwischen Modellvorstellung und Realität.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen Zusammenhänge in Form von Funktionsgleichungen dar.</li> <li>• <b>nur eA:</b> modellieren einfache Prozesse mit Differenzgleichungen.</li> <li>• erläutern das Modell des Potenzialtopfs und ziehen es als heuristisches Hilfsmittel zur Problemlösung heran.</li> <li>• verwenden die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung zur Lösung von Problemen in den Themenbereichen Wellen und Quanten.</li> <li>• erkennen Strukturgleichheiten und nutzen sie dafür, vorhandene Kenntnisse angeleitet auf andere Situationen zu übertragen.</li> <li>• unterscheiden zwischen Modellvorstellung, ikonischer Repräsentation und Realität.</li> </ul>

### Erkenntniswege der Physik beschreiben und reflektieren

Die hier beschriebenen Kompetenzen treten im Sekundarbereich II zu den aus dem Sekundarbereich I bekannten hinzu. Im Sekundarbereich I wird das Nachdenken über die Aussagekraft physikalischer Gesetze im Wesentlichen auf die Abschätzung von Messunsicherheiten beschränkt. Es wird altersgemäß nur ansatzweise darüber reflektiert, wie man in der Physik zu Erkenntnissen oder Gesetzen kommt. Im Sekundarbereich II stehen nun mehr Beispiele zur Verfügung, der Grad der systematischen Ordnung der Sachgebiete hat zugenommen. Deswegen ist es nun möglich und sinnvoll, auf dieser Basis über Wege der Erkenntnisgewinnung zu reflektieren.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• schätzen die absolute Unsicherheit beim Messen einzelner Größen ab.</li> <li>• beurteilen den Gültigkeitsbereich untersuchter Zusammenhänge.</li> </ul>	<p>Die Lernenden ...</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>nur eA:</b> beurteilen ein Ergebnis aufgrund einer Betrachtung der Messunsicherheiten sachgerecht und begründet.</li> <li>• erläutern, dass man mithilfe experimenteller Daten Hypothesen zwar widerlegen, aber nie beweisen kann.</li> <li>• erörtern die Funktion eines Experiments bei der Entscheidung über Hypothesen bzw. zur Initiierung von Ideen.</li> <li>• erläutern die Vorgehensweise zur Informationsgewinnung aus Experimenten.</li> <li>• erläutern die Bedeutung von Modellvorstellungen als Hilfsmittel zur Problemlösung und Formulierung von Hypothesen.</li> <li>• erläutern die Besonderheiten der quantenphysikalischen Sichtweise.</li> </ul>

## Kommunizieren

Lernende müssen Äußerungen von anderen und Texte mit physikalischen Inhalten, auch ausgewählte Fachliteratur, verstehen, sich zu eigen machen und überprüfen. Sie nehmen dazu Informationen auf, strukturieren diese und dokumentieren ihre Arbeit, ihre Lernwege und ihre Ergebnisse. Dabei nutzen sie unterschiedliche Darstellungsformen und Medien. Zunehmend achten die Lernenden auf eine adressatengerechte Darstellung und die Auswahl geeigneter Sprachelemente.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Lernenden ...	Die Lernenden ...
<ul style="list-style-type: none"> <li>• wählen die Sprachebene adressatengerecht aus.</li> <li>• strukturieren, interpretieren und beurteilen fachbezogene Darstellungen.</li> <li>• wählen Informationen aus Formelsammlung und anderen geeigneten Quellen sachgerecht aus.</li> <li>• verfassen Berichte selbstständig.</li> <li>• stellen die Ergebnisse einer selbstständigen Arbeit zu einem Thema in angemessener Form schriftlich dar.</li> <li>• referieren über selbst durchgeführte Experimente sachgerecht und adressatenbezogen und wählen dazu geeignete Medien aus.</li> <li>• entwickeln die Arbeit in der Gruppe weiter.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verwenden die Fachsprache in den behandelten Gebieten sicher.</li> <li>• <b>nur eA:</b> strukturieren, interpretieren und beurteilen fachbezogene Darstellungen für komplexe Sachverhalte, Phänomene in der Natur und Anwendungen in der Technik.</li> <li>• entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder.</li> <li>• präsentieren Arbeitsergebnisse sach-, situations- und adressatengerecht unter Verwendung geeigneter, auch digitaler Darstellungsmethoden und beachten dabei Urheberrecht und Zitierregeln.</li> <li>• nutzen ihr Wissen über aus physikalischer Sicht gültige Argumentationsketten zur Beurteilung vorgegebener und zur Entwicklung eigener innerfachlicher Argumentationen.</li> <li>• führen zu einem Sachverhalt ein Fachgespräch auf angemessenem Niveau.</li> <li>• arbeiten sachgerecht und zielgerichtet in einer Gruppe.</li> </ul>

## Dokumentieren

Wesentliches Kriterium für die Anerkennung naturwissenschaftlicher Ergebnisse ist deren Reproduzierbarkeit. Das setzt eine geeignete Form der Dokumentation voraus. Im Unterricht gelangen die Lernenden zu einer zunehmend selbstständig ausgeführten, situations- und adressatengerechten Darstellungsform, auch unter Nutzung elektronischer Arbeitsmittel, ohne in eine ritualisierte Art des Protokolls zu verfallen. Zur Dokumentation gehört die genau eingehaltene Verwendung von Größensymbolen, Einheiten und Schaltzeichen. Ebenso entwickelt werden soll die Fähigkeit, Lernergebnisse und Kenntnisstand in geeigneter Form übersichtlich darzustellen und so eine Basis für künftiges Lernen bereitzustellen. Eine besondere Bedeutung kommt der Dokumentation von Lösungswegen immer dann zu, wenn elektronische Rechenhilfen benutzt werden. Ein Beispiel für eine geeignete Darstellung befindet sich im Anhang A 2.

<b>am Ende der Einführungsphase</b>	<b>zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase</b>
Die Lernenden ...	Die Lernenden ...
<ul style="list-style-type: none"><li>• führen ihre Notizen selbstständig.</li><li>• dokumentieren ihre Arbeitsschritte auch bei selbst geplanten Experimenten oder Auswertungen in geeigneter schriftlicher Darstellung.</li><li>• nutzen vereinbarte grafische Darstellungen zur Veranschaulichung.</li> <li>• fertigen Messtabellen selbstständig an und geben Größensymbole und Einheiten an.</li><li>• nutzen grafische Darstellungen für beliebige Zusammenhänge, auch unter Benutzung des eingeführten elektronischen Rechenwerkzeugs.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• dokumentieren Versuchsergebnisse selbstständig.</li> <li>• ziehen zur Dokumentation selbstständig Bilder, Texte, Skizzen und Diagramme heran.</li> <li>• dokumentieren Arbeitsschritte mit dem eingeführten elektronischen Rechenwerkzeug in der vereinbarten Weise.</li></ul>

## Bewerten

Zum Bewerten gehört die Fähigkeit, das erworbene Wissen kritisch einordnen zu können, ebenso wie die Beantwortung der Frage, in welchem Gebiet die Physik Aussagen machen kann und in welchem nicht. Insofern ist es unumgänglich, dass die Lernenden zwischen naturwissenschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Komponenten einer Bewertung unterscheiden. Die Gelegenheiten, Bewertungskompetenz im Physikunterricht zu entwickeln, sind allerdings begrenzt und zugleich komplex. Deshalb sind vorhandene, insbesondere aktuelle Anlässe gezielt zu nutzen. Erwartungen an die Progression müssen realistisch eingeschätzt werden, weil die zur Entwicklung erforderlichen Schritte nur selten durchlaufen werden können.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Lernenden ... <ul style="list-style-type: none"><li>• trennen physikalische Aspekte selbstständig von außerphysikalischen.</li></ul>	Die Lernenden ... <ul style="list-style-type: none"><li>• erläutern den Aspektcharakter der Wissenschaft Physik an ausgewählten Beispielen.</li><li>• stellen die Beziehung zwischen Physik und Technik an ausgewählten Beispielen dar.</li><li>• nennen Beispiele für die historische oder gesellschaftliche Bedingtheit physikalischer Sichtweisen.</li><li>• entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab.</li><li>• bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil.</li><li>• wenden selbstständig das erlernte Bewertungsverfahren auf eine geeignete außerfachliche Problemsituation an.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• beschreiben ein einfaches Bewertungsverfahren und wenden dieses angeleitet auf eine geeignete außerfachliche Problemsituation an<sup>1</sup>.</li></ul>	

<sup>1</sup> vgl. Onlinematerial unter [www.physik-material-SekII.bp-nds.de](http://www.physik-material-SekII.bp-nds.de)

### **3.2 Inhaltsbezogene Kompetenzen mit Zuordnung prozessbezogener Kompetenzen in der Einführungsphase**

In den folgenden Tabellen werden die verbindlichen inhaltsbezogenen Kompetenzen (in Verbindung mit ausgewählten prozessbezogenen Kompetenzen) dargestellt, die am Ende der Einführungsphase erworben sein sollen. Dabei ist das erste Halbjahr in allen Schulformen der Dynamik vorbehalten.

Für das zweite Kurshalbjahr ist ein Wahlmodul im Umfang von ungefähr 16 Unterrichtsstunden (bzw. acht Doppelstunden) vorgesehen. Hierzu werden im Folgenden verschiedene Wahlmodule vorgeschlagen. Stattdessen ist es auch möglich, dass das zuständige schulische Fachgremium ein eigenes Wahlmodul aus einem anderen Inhaltsbereich plant, wenn sichergestellt ist, dass für die Physik typische Arbeitsweisen und Anforderungen beispielhaft dargestellt werden oder Defizite aus dem Sekundarbereich I ausgeglichen werden.

An einem geeigneten Beispiel muss im Verlauf der Einführungsphase dargestellt werden, welchen Beitrag Kenntnisse aus der Physik zu Entscheidungen in außerphysikalischen Kontexten leisten können und wo die Grenze zu persönlichen oder politischen Präferenzen liegt. Dazu soll ein einfaches Verfahren zur Entscheidungsfindung vorgestellt werden. Als Anknüpfungspunkte für die Ergänzung von außerphysikalischen Fragestellungen bzw. Bewertungsanlässen eignen sich u. a. Aspekte der Dynamik, des Klimawandels oder der sinnvollen Nutzung von Energie. Falls erforderlich, kann das auch in einem Wahlmodul „Ausgleich von Defiziten aus dem Sekundarbereich I“ geschehen, wenn die Kontexte geeignet gewählt werden.

## Dynamik

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen
Die Lernenden...	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den freien Fall und den waagerechten Wurf mithilfe von <math>t</math>-<math>s</math>- und <math>t</math>-<math>v</math>-Zusammenhängen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden die Kenntnisse über diese Zusammenhänge zur Lösung ausgewählter Aufgaben und Probleme an.</li> <li>• werten Daten aus selbst durchgeführten Experimenten aus.</li> <li>• übertragen die Ergebnisse auf ausgewählte gleichmäßig beschleunigte Bewegungen.</li> <li>• beschreiben die Idealisierungen, die zum Begriff freier Fall führen.</li> <li>• erläutern die Ortsabhängigkeit der Fallbeschleunigung.</li> <li>• übersetzen zwischen sprachlicher, grafischer und algebraischer Darstellung dieser Zusammenhänge und verwenden insbesondere die Begriffe Beschleunigung und Geschwindigkeit sachgerecht.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nennen die Grundgleichung der Mechanik.</li> <li>• erläutern die sich daraus ergebende Definition der Kräfteinheit.</li> <li>• erläutern die drei newtonschen Axiome.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden diese Gleichung zur Lösung ausgewählter Aufgaben und Probleme an.</li> <li>• deuten den Ortsfaktor als Fallbeschleunigung.</li> <li>• wenden ihr Wissen zur Beurteilung von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr an.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die gleichförmige Kreisbewegung mithilfe der Begriffe Umlaufdauer, Bahngeschwindigkeit und Zentripetalbeschleunigung.</li> <li>• nennen die Gleichung für die Zentripetalkraft.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• begründen die Entstehung der Kreisbewegung mittels der richtungsändernden Wirkung der Zentripetalkraft.</li> <li>• unterscheiden dabei zwischen alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nennen die Gleichung für die kinetische Energie.</li> <li>• formulieren den Energieerhaltungssatz der Mechanik.</li> <li>• erarbeiten ein Werturteil zu einer Fragestellung bezüglich der Energienutzung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden diese Zusammenhänge als Alternative zur Lösung einfacher Aufgaben und Probleme an.</li> <li>• planen einfache Experimente zur Überprüfung des Energieerhaltungssatzes, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse.</li> <li>• argumentieren mithilfe des Energieerhaltungssatzes bei einfachen Experimenten.</li> <li>• wenden ein Bewertungsverfahren auf eine Fragestellung im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit an.</li> </ul>

## Wahlmodule für die Einführungsphase<sup>1</sup>

### Akustik

Die Behandlung der Akustik kann einen fächerverbindenden Einblick in die Zusammenhänge zwischen dem Klang verschiedener Instrumente und deren physikalischer Beschreibung bieten, ohne dabei die Wellenlehre zu thematisieren. Es bietet sich dazu an, verschiedene Instrumente mit Sensoren, z. B. von Smartphones oder Tablets, genauer zu untersuchen. Auch für die Messung von Schalldruckpegeln kann auf diese Geräte zurückgegriffen werden.

Zum Wahlmodul Akustik kann gehören:

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen
Die Lernenden ...	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben ein Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Luft und einem anderen Medium.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• werten in diesem Zusammenhang Messwerte angeleitet aus.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• vergleichen Ton, Klang und Geräusch anhand der zugehörigen Schwingungsbilder.</li> <li>• beschreiben die Frequenz als Maß für die Tonhöhe und die Amplitude als Maß für die Lautstärke eines akustischen Signals.</li> <li>• beschreiben die Lautstärke von Signalen mithilfe des Schalldruckpegels.</li> <li>• erläutern den Zusammenhang zwischen Frequenzverhältnissen und musikalischen Intervallen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen ein Experiment mit Mikrofon und registrierendem Messinstrument durch, um Schwingungsbilder verschiedener Klangerzeuger aufzunehmen.</li> <li>• bestimmen die Frequenzen der zugehörigen periodischen Signale.</li> <li>• wenden Schallpegelmessinstrumente an, um Aussagen über die Gefährdung durch Lärm zu treffen.</li> <li>• beschreiben Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Schwingungsbildern von gleichen Noten, die auf verschiedenen Instrumenten gespielt werden.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Frequenzanalyse des Signals gleicher Noten, die auf verschiedenen Instrumenten gespielt werden.</li> <li>• erläutern den Begriff Klangfarbe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden dazu Ergebnisse der Frequenzanalyse von Tönen und Klängen an.</li> <li>• bestätigen die Beziehung <math>f_n = (n + 1) \cdot f_0</math> zwischen Frequenz des <math>n</math>-ten Obertons und Frequenz <math>f_0</math> des Grundtons.</li> </ul>

<sup>1</sup> vgl. Onlinematerial unter [www.physik-material-SekII.bp-nds.de](http://www.physik-material-SekII.bp-nds.de)

## Atom- und Kernphysik

Dieses Wahlmodul dient dazu, vorhandene Unterschiede zwischen Kursen auszugleichen, die sich durch die Herkunft der Lernenden aus unterschiedlichen Bildungsgängen möglicherweise ergeben haben. Aus diesem Grund ähnelt es dem entsprechenden Themenbaustein im Kerncurriculum des Sekundarbereichs I für Gymnasien. Zu den Inhalten sollte gehören:

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen
Die Lernenden ...	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben das Kern-Hülle-Modell des Atoms und erläutern den Begriff Isotop.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deuten das Phänomen der Ionisation mithilfe dieses Modells.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die ionisierende Wirkung von Kernstrahlung und deren stochastischen Charakter.</li> <li>• beschreiben die grundlegende Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die biologische Wirkung und ausgewählte medizinische Anwendungen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• vergleichen <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>-, <math>\gamma</math>-Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens und ihrer Reichweite in Luft und beschreiben ihre Entstehung modellhaft.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• untersuchen die zugehörigen Abhängigkeiten, ggf. in Analogversuchen.</li> <li>• beschreiben die Ähnlichkeit von UV-, Röntgen-, <math>\gamma</math>-Strahlung und sichtbarem Licht und die Unterschiede hinsichtlich ihrer biologischen Wirkung.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den radioaktiven Zerfall eines Stoffes unter Verwendung des Begriffes Halbwertszeit.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bestimmen die Halbwertszeit durch zeichnerische Auswertung der Abklingkurve.</li> <li>• nehmen Stellung zur Problematik der Lagerung des radioaktiven Abfalls.</li> </ul>

## Optische Abbildungen

Im Mittelpunkt dieses Moduls stehen optische Abbildungen durch Linsen. Dabei lässt sich an die Kenntnisse aus dem Bereich Optik des Sekundarbereichs I anknüpfen. Die Auseinandersetzung mit den Grundlagen soll quantitative Aspekte umfassen. Dazu kann gehören:

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen
Die Lernenden ...	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Entstehung eines Bildes an Linsen.</li> <li>• beschreiben den Einfluss verschiedener Brennweiten auf die Größe und Lage des Bildes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen Experimente zur Erzeugung optischer Abbildungen durch.</li> <li>• konstruieren Bilder mithilfe ausgezeichneter Strahlen.</li> <li>• bestimmen den Abbildungsmaßstab.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die Eigenschaften des Bildes in Abhängigkeit von der Gegenstandsweite.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• modellieren optische Abbildungen mithilfe von dynamischer Geometriesoftware.</li> <li>• überprüfen die theoretischen Vorhersagen anhand entsprechender Experimente.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nennen die Gleichung für den Zusammenhang zwischen Brenn-, Gegenstands- und Bildweite.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• leiten diese Gleichung her.</li> <li>• wenden die Gleichung in ausgewählten Situationen an.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die grundlegende Funktionsweise ausgewählter Geräte (z. B. Beamer, Fotoapparat, Mikroskop, Fernrohr).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den Unterschied zwischen abbildenden und den Sehwinkel vergrößernden Geräten.</li> </ul>

## Strahlungsphysik

Die Behandlung der Strahlungsphysik soll die Einstellung eines Gleichgewichts der globalen Energieströme verständlich machen und dazu beitragen, die Störung dieses Gleichgewichts als eine mögliche Ursache von Klimaveränderungen zu verstehen. Dazu kann gehören:

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen
Die Lernenden ...	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nennen das boltzmannsche Strahlungsgesetz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden dieses Gesetz auf ausgewählte Fragestellungen an.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nennen das wiensche Verschiebungsgesetz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden dieses Gesetz auf Beobachtungen an verschiedenen Lichtquellen an.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die Einstellung eines Strahlungsgleichgewichts.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deuten die zugehörigen Vorgänge als Folge von Reflexions-, Absorptions- bzw. Reemissionsvorgängen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben ein Experiment zur selektiven Absorption.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• übertragen das Ergebnis auf das unterschiedliche Absorptionsverhalten der klima-relevanten Gase gegenüber sichtbarem bzw. infrarotem Licht.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen den Treibhauseffekt an einem geeignet vereinfachten Modell dar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden dazu vorgelegte grafische Darstellungen an.</li> <li>• erörtern an diesem Modell Aussagen und Grenzen der Modellierung.</li> <li>• beschreiben an diesem Modell die Auswirkungen von Veränderungen an einzelnen Parametern.</li> </ul>

### 3.3 Inhaltsbezogene Kompetenzen mit Zuordnung prozessbezogener Kompetenzen in der Qualifikationsphase

In den folgenden Tabellen werden die verbindlichen inhaltsbezogenen Kompetenzen (in Verbindung mit ausgewählten prozessbezogenen Kompetenzen) dargestellt, die am Ende der Qualifikationsphase erworben sein sollen.

#### Elektrizität

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben elektrische Felder durch ihre Kraftwirkungen auf geladene Probekörper.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• skizzieren Feldlinienbilder für das homogene Feld, das Feld einer Punktladung und das eines Dipols.</li> <li>• beschreiben die Funktionsweise eines faradayschen Käfigs als Resultat des Superpositionsprinzips.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• skizzieren Feldlinienbilder für das homogene Feld, das Feld einer Punktladung und das eines Dipols.</li> <li>• beschreiben die Funktionsweise eines faradayschen Käfigs als Resultat des Superpositionsprinzips.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nennen die Einheit der Ladung und erläutern die Definition der elektrischen Feldstärke.</li> <li>• <b>nur eA:</b> beschreiben das coulombsche Gesetz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben ein Verfahren zur Bestimmung der elektrischen Feldstärke auf der Grundlage von Kraftmessungen.</li> <li>• werten in diesem Zusammenhang Messreihen angeleitet aus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben ein Verfahren zur Bestimmung der elektrischen Feldstärke auf der Grundlage von Kraftmessungen.</li> <li>• werten in diesen Zusammenhängen Messreihen aus.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den Zusammenhang zwischen Ladung und elektrischer Stromstärke.</li> <li>• nennen die Definition der elektrischen Spannung als der pro Ladung übertragbaren Energie.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die elektrische Spannung auch als Potentialdifferenz.</li> </ul>

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den Zusammenhang zwischen der Feldstärke in einem Plattenkondensator und der anliegenden Spannung.</li> <li>• geben die Energiebilanz für einen freien geladenen Körper im elektrischen Feld eines Plattenkondensators an.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ermitteln angeleitet die Geschwindigkeit eines geladenen Körpers im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators mithilfe dieser Energiebilanz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ermitteln die Geschwindigkeit eines geladenen Körpers im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators mithilfe dieser Energiebilanz.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den <math>t</math>-<math>I</math>-Zusammenhang (<b>nur eA</b>: und die <math>t</math>-<math>U</math>-Zusammenhänge) beim Aufladevorgang und beim Entladevorgang eines Kondensators mithilfe einer Exponentialfunktion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen angeleitet Experimente zum Aufladevorgang durch.</li> <li>• ermitteln aus den Messdaten den zugehörigen <math>t</math>-<math>I</math>-Zusammenhang.</li> <li>• beschreiben qualitativ den Einfluss von <math>R</math> und <math>C</math> auf diesen Zusammenhang.</li> <li>• begründen die Auswahl einer exponentiellen Regression auf der Grundlage der Messdaten.</li> <li>• ermitteln die geflossene Ladung mithilfe von <math>t</math>-<math>I</math>-Diagrammen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen selbstständig Experimente zum Auf- und Entladevorgang hinsichtlich Stromstärke und Spannung durch.</li> <li>• ermitteln aus den Messdaten den zugehörigen <math>t</math>-<math>I</math> bzw. <math>t</math>-<math>U</math>-Zusammenhang.</li> <li>• überprüfen den Zusammenhang zwischen der Halbwertszeit und dem Produkt aus <math>R</math> und <math>C</math>.</li> <li>• begründen die Auswahl einer exponentiellen Regression auf der Grundlage der Messdaten.</li> <li>• ermitteln die geflossene Ladung mithilfe von <math>t</math>-<math>I</math>-Diagrammen.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nennen die Definition der Kapazität eines Kondensators.</li> <li>• nennen die Gleichung für die Energie des elektrischen Feldes eines Plattenkondensators.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen ein Experiment zur Bestimmung der Kapazität eines Kondensators durch.</li> <li>• beschreiben eine Einsatzmöglichkeit von Kondensatoren in technischen Systemen.</li> <li>• berechnen die Kapazität eines Plattenkondensators aus seinen geometrischen Abmessungen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• planen ein Experiment zur Bestimmung der Kapazität eines Kondensators und führen es durch.</li> <li>• beschreiben eine Einsatzmöglichkeit von Kondensatoren in technischen Systemen.</li> <li>• berechnen die Kapazität eines Plattenkondensators aus seinen geometrischen Abmessungen.</li> <li>• beschreiben qualitativ den Einfluss eines Dielektrikums auf die Kapazität.</li> </ul>

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben magnetische Felder durch ihre Wirkung auf Kompassnadeln.</li> <li>• ermitteln Richtung (Dreifingerregel) und Betrag der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im homogenen Magnetfeld.</li> <li>• nennen die Definition der magnetischen Flussdichte <math>B</math> (Feldstärke <math>B</math>) in Analogie zur elektrischen Feldstärke <math>E</math>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ermitteln die Richtung von magnetischen Feldern mit Kompassnadeln.</li> <li>• erläutern ein Experiment zur Bestimmung von <math>B</math> mithilfe einer Stromwaage.</li> <li>• begründen die Definition mithilfe geeigneter Messdaten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ermitteln die Richtung von magnetischen Feldern mit Kompassnadeln.</li> <li>• erläutern ein Experiment zur Bestimmung von <math>B</math> mithilfe einer Stromwaage.</li> <li>• begründen die Definition mithilfe geeigneter Messdaten.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die Bewegung von freien Elektronen: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ unter Einfluss der Lorentzkraft,</li> <li>○ unter Einfluss der Kraft im homogenen elektrischen Querfeld,</li> <li>○ im Wien-Filter.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• begründen den prinzipiellen Verlauf der Bahnkurven.</li> <li>• übertragen ihre Kenntnisse auf andere geladene Teilchen.</li> <li>• leiten die zugehörige Gleichung für die Geschwindigkeit angeleitet her.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• begründen den prinzipiellen Verlauf der Bahnkurven.</li> <li>• übertragen ihre Kenntnisse auf andere geladene Teilchen.</li> <li>• leiten vorstrukturiert die Gleichung für die Bahnkurve im homogenen elektrischen Querfeld her.</li> <li>• leiten die zugehörige Gleichung für die Geschwindigkeit her.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>nur eA:</b> beschreiben das physikalische Prinzip zur Bestimmung der spezifischen Ladung von Elektronen mithilfe des Fadenstrahlrohres.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• leiten dazu die Gleichung für die spezifische Ladung des Elektrons her und bestimmen die Elektronenmasse.</li> </ul>

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben ein Experiment zur Messung von <math>B</math> mit einer Hallsonde.</li> <li>• <b>nur eA:</b> erläutern die Entstehung der Hallspannung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen Experimente zur Messung von <math>B</math> bei Spulen mit einer Hallsonde durch.</li> <li>• beschreiben qualitativ die Abhängigkeit von <math>B</math> von <math>I</math>, <math>n</math>, <math>l</math> und <math>\mu_r</math>.</li> <li>• skizzieren Magnetfeldlinienbilder für einen geraden Leiter und eine Spule.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen selbstständig Experimente zur Messung von <math>B</math> mit einer Hallsonde durch.</li> <li>• berechnen die magnetische Flussdichte <math>B</math> (Feldstärke <math>B</math>) im Inneren einer schlanken Spule.</li> <li>• skizzieren Magnetfeldlinienbilder für einen geraden Leiter und eine Spule.</li> <li>• leiten die Gleichung für die Hallspannung in Abhängigkeit von der Driftgeschwindigkeit anhand einer geeigneten Skizze her.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die Erzeugung einer Induktionsspannung qualitativ mithilfe des magnetischen Flusses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen einfache qualitative Experimente zur Erzeugung einer Induktionsspannung durch.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• führen einfache qualitative Experimente zur Erzeugung einer Induktionsspannung durch.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>nur gA:</b> nennen den Zusammenhang zwischen Induktionsspannung und einer linearen zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• werten geeignete Versuche bzw. Diagramme zur Überprüfung des Induktionsgesetzes für den Fall linearer Änderungen von <math>A</math> bzw. <math>B</math> aus.</li> <li>• beschreiben ein Beispiel für eine technische Anwendung der Induktion.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>nur eA:</b> wenden das Induktionsgesetz in differentieller Form auf vorgegebene lineare und sinusförmige Verläufe von <math>\Phi</math> an.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• begründen den Verlauf von <math>t</math>-<math>U</math>-Diagrammen für lineare und sinusförmige Änderungen von <math>\Phi</math>.</li> <li>• werten geeignete Versuche bzw. Diagramme zur Überprüfung des Induktionsgesetzes aus.</li> <li>• stellen technische Bezüge hinsichtlich der Erzeugung von Wechselspannung dar.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>nur eA:</b> beschreiben Spulen als Energiespeicher in Analogie zu Kondensatoren.</li> <li>• <b>nur eA:</b> nennen die Gleichung für die Energie des magnetischen Feldes einer Spule.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern in diesem Zusammenhang die Vorgänge beim Ein- und Ausschalten von Spulen durch Selbstinduktion.</li> <li>• definieren die Induktivität als Bauteileigenschaft aus einer Energiebetrachtung.</li> </ul>

## Schwingungen und Wellen

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>stellen harmonische Schwingungen grafisch dar.</li> <li>beschreiben harmonische Schwingungen mithilfe von Auslenkung, Amplitude, Periodendauer und Frequenz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>verwenden die Zeigerdarstellung oder Sinuskurven zur grafischen Beschreibung.</li> <li>ermitteln Werte durch Ablesen an einem registrierenden Messinstrument (Oszilloskop oder geeignetes digitales Werkzeug).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>verwenden die Zeigerdarstellung oder Sinuskurven zur grafischen Beschreibung.</li> <li>ermitteln Werte durch Ablesen an einem registrierenden Messinstrument (Oszilloskop oder geeignetes digitales Werkzeug).</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>geben die Gleichung für die Periodendauer eines Feder-Masse-Pendels an.</li> <li><b>nur eA:</b> nennen ein lineares Kraftgesetz als Bedingung für die Entstehung einer mechanischen harmonischen Schwingung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bestätigen die zugehörigen Abhängigkeiten experimentell.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>untersuchen die zugehörigen Abhängigkeiten experimentell.</li> <li>ermitteln geeignete Ausgleichskurven.</li> <li>wenden diese Verfahren auf das Fadenpendel an.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li><b>nur eA:</b> beschreiben die Schwingung eines Feder-Masse-Pendels mithilfe von Energieumwandlungen.</li> <li><b>nur eA:</b> beschreiben die Bedingung, unter der bei einer erzwungenen Schwingung Resonanz auftritt.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>deuten in diesem Zusammenhang die zugehörigen <math>t</math>-<math>s</math>- und <math>t</math>-<math>v</math>-Diagramme auch bei gedämpften Schwingungen im Spezialfall exponentiell abnehmender Amplitude.</li> <li>erläutern das Phänomen Resonanz anhand eines Experiments.</li> </ul>

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben den Aufbau eines elektromagnetischen Schwingkreises.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ermitteln Amplitude, Periodendauer bzw. Frequenz aus vorgelegten Messdaten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben in Analogie zum Feder-Masse-Pendel die Energieumwandlungen in einem Schwingkreis qualitativ.</li> <li>• beschreiben ein Experiment zur Erzeugung einer Resonanzkurve.</li> <li>• ermitteln die Abhängigkeit der Frequenz der Eigenschwingung von der Kapazität experimentell anhand eines Resonanzversuchs.</li> <li>• nennen die thomsonsche Schwingungsgleichung.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die Ausbreitung harmonischer Wellen.</li> <li>• beschreiben harmonische Wellen mithilfe von Periodendauer, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge, Frequenz, Amplitude und Phase.</li> <li>• geben den Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz an.</li> <li>• beschreiben Reflexion, Brechung und Beugung als Phänomene, die bei der Wellenausbreitung auftreten.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verwenden Zeigerketten oder Sinuskurven zur grafischen Darstellung.</li> <li>• wenden die zugehörige Gleichung an.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verwenden Zeigerketten oder Sinuskurven zur grafischen Darstellung.</li> <li>• wenden die zugehörige Gleichung an.</li> <li>• begründen diesen Zusammenhang mithilfe der Zeigerdarstellung oder der Sinusfunktion.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• vergleichen longitudinale und transversale Wellen.</li> <li>• beschreiben Polarisierbarkeit als Unterscheidungsmerkmal zwischen transversalen und longitudinalen Wellen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• überprüfen die Polarisierbarkeit bei einem Experiment mit Licht.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• untersuchen experimentell die Winkelabhängigkeit der Intensität des durchgehenden Lichts bei einem Paar von Polarisatoren.</li> <li>• interpretieren in diesem Zusammenhang das Quadrat der Zeigerlänge bzw. das Quadrat der Amplitude der zugehörigen Sinuskurve als Intensität.</li> </ul>

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben und deuten Interferenzphänomene für folgende „Situationen“:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ stehende Welle,</li> <li>○ Michelson-Interferometer,</li> <li>○ Doppelspalt und Gitter,</li> <li>○ <b>nur eA:</b> Einzelspalt,</li> <li>○ <b>nur eA:</b> bei der Bragg-Reflexion.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verwenden die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung zur Beschreibung und Deutung der aus dem Unterricht bekannten Situationen.</li> <li>• erläutern die technische Verwendung des Michelson-Interferometers zum Nachweis kleiner Längenänderungen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• verwenden die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung zur Beschreibung und Deutung.</li> <li>• erläutern die technische Verwendung des Michelson-Interferometers zum Nachweis kleiner Längenänderungen.</li> <li>• erläutern die Veränderung des Interferenzmusters beim Übergang vom Doppelspalt zum Gitter.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben je ein Experiment zur Bestimmung der Wellenlänge               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ von Ultraschall bei durch Reflexion entstandenen stehenden Wellen,</li> <li>○ von weißem und monochromatischem Licht mit einem Gitter (objektiv / <b>nur eA:</b> subjektiv),</li> </ul> </li> <li>○ <b>nur eA:</b> mit dem Michelson-Interferometer,</li> <li>○ <b>nur eA:</b> von Röntgenstrahlung mit Bragg-Reflexion.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• werten entsprechende Experimente angeleitet aus.</li> <li>• beschreiben die Funktion der zugehörigen optischen Bauteile auf der Grundlage einer vorgegebenen Skizze.</li> <li>• leiten die Gleichung für die Interferenz am Doppelspalt vorstrukturiert und begründet her.</li> <li>• ordnen den Frequenzbereich des sichtbaren Lichts in das Spektrum elektromagnetischer Wellen ein.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• werten entsprechende Experimente aus.</li> <li>• beschreiben die Funktion der zugehörigen optischen Bauteile.</li> <li>• leiten die Gleichung für die Interferenz am Doppelspalt selbstständig und begründet her.</li> <li>• ordnen den Frequenzbereich des sichtbaren Lichts in das Spektrum elektromagnetischer Wellen ein.</li> <li>• wenden ihre Kenntnisse zur Bestimmung des Spurabstandes bei einer CD/DVD an.</li> <li>• erläutern ein Verfahren zur Aufnahme eines Röntgenspektrums.</li> <li>• leiten die Bragg-Gleichung selbstständig und begründet her.</li> </ul>

## Quantenobjekte

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben ein Doppelspaltexperiment zur Interferenz von Quantenobjekten mit Ruhemasse (z. B. kalte Neutronen, Fullerene).</li> <li>• ermitteln die Wellenlänge bei Quantenobjekten mit Ruhemasse mithilfe der de-Broglie-Gleichung.</li> <li>• <b>nur eA:</b> nennen in diesem Zusammenhang die Definition des Impulses.</li> <li>• beschreiben das Experiment mit der Elektronenbeugungsröhre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deuten das Interferenzmuster stochastisch.</li> <li>• bestätigen durch angeleitete Auswertung von Messwerten die Antiproportionalität zwischen Wellenlänge und Geschwindigkeit.</li> <li>• deuten die Beobachtungen mithilfe optischer Analogieversuche an Transmissionsgittern.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deuten das Interferenzmuster stochastisch.</li> <li>• verwenden zur Deutung der Interferenzmuster die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung.</li> <li>• beschreiben den Zusammenhang zwischen der Nachweiswahrscheinlichkeit für ein einzelnes Quantenobjekt und dem Quadrat der resultierenden Zeigerlänge bzw. der Amplitude der resultierenden Sinuskurve.</li> <li>• bestätigen durch Auswertung von Messwerten die Antiproportionalität zwischen Wellenlänge und Geschwindigkeit.</li> <li>• deuten die Beobachtungen mithilfe optischer Analogieversuche an Transmissionsgittern.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• übertragen die stochastische Deutung von Interferenzmustern auf Doppelspaltexperimente mit einzelnen Photonen und Elektronen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben und deuten die entstehenden Interferenzmuster bei geringer und hoher Intensität.</li> <li>• erläutern den Begriff Komplementarität mithilfe der Beobachtungen an einem Doppelspaltexperiment.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben und deuten die entstehenden Interferenzmuster bei geringer und hoher Intensität.</li> <li>• erläutern die Koinzidenzmethode zum Nachweis einzelner Photonen.</li> </ul>

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>nur eA:</b> beschreiben den Aufbau eines Mach-Zehnder-Interferometers.</li> <li>• <b>nur eA:</b> interpretieren ein Experiment mit dem Mach-Zehnder-Interferometer mit einzelnen Quantenobjekten unter den Gesichtspunkten Komplementarität und Nichtlokalität.</li> <li>• <b>nur eA:</b> beschreiben ein Experiment mit dem Mach-Zehnder-Interferometer analog zu einem delayed-choice-Experiment.</li> <li>• <b>nur eA:</b> erläutern die Begriffe Zustand, Präparation und Superposition am Beispiel eines Experimentes mit polarisiertem Licht.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Begriffe Komplementarität und Nichtlokalität mithilfe der Beobachtungen am Mach-Zehnder-Interferometer mit einzelnen Quantenobjekten.</li>   <li>• erläutern an diesem Beispiel die Begriffe Nichtlokalität und Kausalität.</li>   <li>• erläutern eine Anwendung der Quantenphysik.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>nur eA:</b> erläutern Unbestimmtheit in der Form: die Streuungen der Werte zweier komplementärer Größen können nicht beide beliebig klein sein.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• veranschaulichen das Konzept der Unbestimmtheit an einem Beispiel.</li> <li>• vergleichen das Erlernte mit der Lehrbuch-Notierung der Unbestimmtheitsrelation für Ort und Impuls.</li> </ul>

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die experimentelle Bestimmung der planckschen Konstante <math>h</math> mit LEDs in ihrer Funktion als Energiewandler.</li> <li>• <b>nur eA:</b> beschreiben ein Experiment zur Bestimmung der Energie der Photoelektronen beim äußeren lichtelektrischen Effekt mit der Vakuum-Fotозelle.</li> <li>• <b>nur eA:</b> erläutern die Entstehung des Röntgenbremsspektrums als Energieübertragung von Elektronen auf Photonen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deuten das zugehörige Experiment mithilfe des Photonenmodells.</li> <li>• überprüfen durch angeleitete Auswertung von Messwerten die Hypothese der Proportionalität zwischen Energie des Photons und der Frequenz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• deuten das zugehörige Experiment mithilfe des Photonenmodells.</li> <li>• überprüfen durch Auswertung von Messwerten die Hypothese der Proportionalität zwischen Energie des Photons und der Frequenz.</li> <li>• wenden ihre Kenntnisse über das Photonenmodell des Lichtes auf diese Situation an.</li> <li>• deuten das zugehörige <math>f</math>-<math>E</math>-Diagramm.</li> <li>• ermitteln aus Röntgenbremsspektren einen Wert für die plancksche Konstante <math>h</math>.</li> </ul>

## Atomhülle

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern die Quantisierung der Gesamtenergie von Elektronen in der Atomhülle.</li> <li>• nennen die Gleichung für die Gesamtenergie eines Elektrons in diesem Modell.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden dazu das Modell vom eindimensionalen Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden an.</li> <li>• beschreiben die Aussagekraft und die Grenzen dieses Modells.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wenden dazu das Modell vom eindimensionalen Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden an.</li> <li>• leiten die Gleichung für die Gesamtenergie eines Elektrons in diesem Modell her.</li> <li>• beschreiben die Aussagekraft und die Grenzen dieses Modells auch unter Berücksichtigung der Unbestimmtheitsrelation.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern quantenhafte Emission anhand von Experimenten zu Linienspektren bei Licht ...</li> <li>• <b>nur eA:</b> ... und Röntgenstrahlung.</li> <li>• erläutern einen Versuch zur Resonanzabsorption.</li> <li>• beschreiben einen Franck-Hertz-Versuch.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären diese Beobachtungen durch die Annahme diskreter Energieniveaus in der Atomhülle.</li> <li>• beschreiben Wellenlängen-Intensitäts-Spektren von Licht.</li> <li>• deuten die Abnahme der Stromstärke und die Leuchterscheinungen in einer mit Neon gefüllten Franck-Hertz-Röhre als Folge von Anregungen von Atomen durch Elektronenstöße.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären diese Beobachtungen durch die Annahme diskreter Energieniveaus in der Atomhülle.</li> <li>• beschreiben Wellenlängen-Intensitäts-Spektren von Licht.</li> <li>• stellen einen Zusammenhang zwischen den Leuchterscheinungen in einer mit Neon gefüllten Franck-Hertz-Röhre und der Franck-Hertz-Kennlinie dar.</li> <li>• ermitteln eine Anregungsenergie anhand einer Franck-Hertz-Kennlinie.</li> <li>• nennen Unterschiede zwischen einer Anregung mit Photonen und einer Anregung mit Elektronen.</li> </ul>

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• erklären den Zusammenhang zwischen Spektrallinien und Energieniveauschemata.</li> <li>• beschreiben die Vorgänge der Fluoreszenz an einem einfachen Energieniveauschema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• benutzen vorgelegte Energieniveauschemata zur Berechnung der Wellenlänge von Spektrallinien und ordnen gemessenen Wellenlängen Energieübergänge zu.</li> <li>• berechnen die Energieniveaus von Wasserstoff mit der Balmerformel.</li> <li>• erläutern und bewerten die Bedeutung der Fluoreszenz in Leuchtstoffen an den Beispielen Leuchtstoffröhre und „weiße“ LED.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• benutzen vorgelegte Energieniveauschemata zur Berechnung der Wellenlänge von Spektrallinien und ordnen gemessenen Wellenlängen Energieübergänge zu.</li> <li>• erklären ein charakteristisches Röntgenspektrum auf der Grundlage dieser Kenntnisse.</li> <li>• berechnen die Energieniveaus von Wasserstoff und von wasserstoffähnlichen Atomen mit der Balmerformel.</li> <li>• erläutern und bewerten die Bedeutung der Fluoreszenz in Leuchtstoffen an den Beispielen Leuchtstoffröhre und „weiße“ LED.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die Orbitale des Wasserstoffatoms bis <math>n = 2</math>.</li> <li>• <b>nur eA:</b> beschreiben die „Orbitale“ bis <math>n = 2</math> in einem dreidimensionalen Potenzialtopf.</li> <li>• <b>nur eA:</b> nennen das Pauliprinzip.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen einen Zusammenhang zwischen Orbitalen und Nachweiswahrscheinlichkeiten für Elektronen anschaulich her.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen einen Zusammenhang zwischen Orbitalen und Nachweiswahrscheinlichkeiten für Elektronen anschaulich her.</li> <li>• erläutern Gemeinsamkeiten zwischen den Orbitalen des Wasserstoffatoms und denen des dreidimensionalen Potenzialtopfs.</li> <li>• bestimmen die maximale Anzahl der Elektronen im dreidimensionalen Potenzialtopf bis <math>n = 2</math>.</li> </ul>

## Atomkern

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern das grundlegende Funktionsprinzip eines Geiger-Müller-Zählrohrs als Messgerät für Zählraten.</li> <li>• erläutern das Zerfallsgesetz.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen Zerfallsvorgänge grafisch dar und werten sie unter Verwendung der Eigenschaften einer Exponentialfunktion aus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen Zerfallsvorgänge grafisch dar und werten sie unter Verwendung der Eigenschaften einer Exponentialfunktion zur Basis e aus.</li> <li>• übertragen dieses Vorgehen auf andere Abklingvorgänge.</li> <li>• beurteilen Gültigkeitsgrenzen der mathematischen Beschreibung aufgrund der stochastischen Natur der Strahlung.</li> <li>• modellieren einen radioaktiven Zerfall mit dem Differenzenverfahren unter Einsatz einer Tabellenkalkulation oder eines Modellbildungssystems.</li> <li>• wenden dieses Verfahren auf einen Mutter-Tochter-Zerfall an.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• stellen Zerfallsreihen anhand einer Nuklidkarte auf.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ermitteln aus einer Nuklidkarte die kennzeichnenden Größen eines Nuklids und die von ihm emittierte Strahlungsart.</li> <li>• beschreiben grundlegende Eigenschaften von <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>- und <math>\gamma</math>-Strahlung.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ermitteln aus einer Nuklidkarte die kennzeichnenden Größen eines Nuklids und die von ihm emittierte Strahlungsart.</li> <li>• beschreiben grundlegende Eigenschaften von <math>\alpha</math>-, <math>\beta</math>- und <math>\gamma</math>-Strahlung.</li> </ul>

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Lernenden ...		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• erläutern das grundlegende Funktionsprinzip eines Halbleiterdetektors für die Energiemessung von Kernstrahlung.</li> <li>• interpretieren ein <math>\alpha</math>-Spektrum auf der Basis der zugehörigen Zerfallsreihe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die in Energiespektren verwendete Darstellungsform (Energie-Häufigkeits-Diagramm).</li> <li>• wenden in diesem Zusammenhang die Nuklidkarte an.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• beschreiben die in Energiespektren verwendete Darstellungsform (Energie-Häufigkeits-Diagramm).</li> <li>• wenden in diesem Zusammenhang die Nuklidkarte an.</li> <li>• erläutern die Bedeutung der Bragg-Kurve in der Strahlentherapie.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>nur eA:</b> beschreiben die Quantisierung der Gesamtenergie von Nukleonen im eindimensionalen Potenzialtopf.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• schätzen die Größenordnung der Energie bei Kernprozessen mithilfe des Potenzialtopfmodells ab.</li> </ul>

## 4 Leistungsfeststellung und Leistungsbewertung

Leistungen im Unterricht sind in allen Kompetenzbereichen festzustellen. Dabei ist zu bedenken, dass die sozialen und personalen Kompetenzen, die über das Fachliche hinausgehen, von den im Kerncurriculum formulierten erwarteten Kompetenzen nur in Ansätzen erfasst werden.

Der an Kompetenzerwerb orientierte Unterricht bietet Lernenden einerseits ausreichend Gelegenheiten, Problemlösungen zu erproben, andererseits fordert er den Kompetenznachweis in Leistungssituationen. Ein derartiger Unterricht schließt die Förderung der Fähigkeit zur Selbsteinschätzung der Leistung ein. In Lernsituationen dienen Fehler und Umwege den Lernenden als Erkenntnismittel, den Lehrkräften geben sie Hinweise für die weitere Unterrichtsplanung. Das Erkennen von Fehlern und der produktive Umgang mit ihnen sind konstruktiver Teil des Lernprozesses. Für den weiteren Lernfortschritt ist es wichtig, bereits erworbene Kompetenzen herauszustellen und Lernende zum Weiterlernen zu ermutigen.

In Leistungs- und Überprüfungssituationen ist es das Ziel, die Verfügbarkeit der erwarteten Kompetenzen nachzuweisen. Leistungsfeststellungen und Leistungsbewertungen geben den Lernenden Rückmeldungen über die erworbenen Kompetenzen und den Lehrkräften Orientierung für notwendige Maßnahmen zur individuellen Förderung. Neben der kontinuierlichen Beobachtung der Lernenden im Lernprozess und ihrer individuellen Lernfortschritte, sind die Ergebnisse mündlicher, schriftlicher und anderer fachspezifischer Lernkontrollen zur Leistungsfeststellung heranzuziehen.

In Lernkontrollen werden überwiegend Kompetenzen überprüft, die im unmittelbar vorangegangenen Unterricht erworben werden konnten. Darüber hinaus sollen jedoch auch Problemstellungen einbezogen werden, die die Verfügbarkeit von Kompetenzen eines langfristig angelegten Kompetenzaufbaus überprüfen. In schriftlichen Lernkontrollen sind alle drei Anforderungsbereiche zu berücksichtigen. Bei schriftlichen Lernkontrollen liegt der Schwerpunkt im Anforderungsbereich II, und der Anforderungsbereich I wird in höherem Maße als der Anforderungsbereich III berücksichtigt. Festlegungen zur Anzahl der bewerteten schriftlichen Lernkontrollen in der Einführungsphase sowie der Dauer der schriftlichen Lernkontrollen im Sekundarbereich II trifft an allgemein bildenden Schulen die Fachkonferenz auf der Grundlage der Vorgaben der „Verordnung über die gymnasiale Oberstufe“ und den „Ergänzenden Bestimmungen zur Verordnung über die gymnasiale Oberstufe“ in der jeweils gültigen Fassung.

Zur Ermittlung der Gesamtzensur sind die Ergebnisse der Klausuren und die Bewertung der Mitarbeit im Unterricht heranzuziehen. Der Anteil der schriftlichen Leistungen an der Gesamtzensur ist abhängig von der Anzahl der schriftlichen Lernkontrollen innerhalb eines Schulhalbjahres. Er darf ein Drittel an der Gesamtzensur nicht unterschreiten und 50% nicht überschreiten.

Im Laufe des Schulhalbjahres sind die Lernenden mehrfach über ihren aktuellen Leistungsstand zu informieren.

Zur Mitarbeit im Unterricht (mündliche und andere fachspezifische Leistungen) zählen z. B.:

- sachbezogene und kooperative Teilnahme am Unterrichtsgespräch,
- Erheben relevanter Daten (z. B. Informationen sichten, gliedern und bewerten, in unterschiedlichen Quellen recherchieren, Interviews und Meinungsumfragen durchführen),
- Planen, Durchführen und Auswerten von Experimenten,
- Ergebnisse von Partner- oder Gruppenarbeiten und deren Darstellung,
- Unterrichtsdokumentationen (z. B. Protokolle, Arbeitsmappen, Materialdossiers, Portfolios),
- Präsentationen, auch mediengestützt (z. B. Experiment, Referate, Vorstellung eines Thesepapiers, Erläuterung eines Schaubildes, Darstellung von Arbeitsergebnissen),
- verantwortungsvolle Zusammenarbeit im Team (z. B. planen, strukturieren, reflektieren, präsentieren),
- Umgang mit Medien und anderen fachspezifischen Hilfsmitteln,
- Anwenden und Ausführen fachspezifischer Methoden und Arbeitsweisen,
- Anfertigen von schriftlichen Ausarbeitungen,
- mündliche Überprüfungen und kurze schriftliche Lernkontrollen,
- häusliche Vor- und Nachbereitung,
- freie Leistungsvergleiche (z. B. Teilnahme an Schülerwettbewerben).

Bei kooperativen Arbeitsformen sind sowohl die individuelle Leistung als auch die Gesamtleistung der Gruppe in die Bewertung einzubeziehen. So werden neben methodisch-strategischen auch sozial-kommunikative Leistungen berücksichtigt.

Die Grundsätze der Leistungsfeststellung und -bewertung müssen für Lernenden sowie für die Erziehungsberechtigten transparent sein.

## 5 Aufgaben der Fachkonferenz bzw. der Fachgruppe

Für die in diesem Abschnitt beschriebenen Aufgaben ist an allgemein bildenden Schulen die Fachkonferenz und an Beruflichen Gymnasien die Fachgruppe zuständig.

Unter Beachtung der rechtlichen Grundlagen und der fachbezogenen Vorgaben des Kerncurriculums ist ein schuleigener Arbeitsplan zu erarbeiten. Diese Erstellung ist ein Prozess.

Die regelmäßige Überprüfung und Weiterentwicklung des schuleigenen Arbeitsplans trägt zur Qualitätsentwicklung und zur Qualitätssicherung des Faches bei.

Das zuständige schulische Fachgremium ...

- legt die Themen bzw. die Struktur von Unterrichtseinheiten fest, die die Entwicklung der erwarteten Kompetenzen ermöglichen, und berücksichtigt dabei regionale Bezüge,
- legt die Zuordnung der Themenbausteine auf die Schulhalbjahre fest,
- arbeitet ggf. fachübergreifende und fächerverbindende Anteile heraus und stimmt diese mit den anderen Fachkonferenzen ab,
- legt Themen bzw. Unterrichtseinheiten für Wahlmodule sowie ggf. Wahlpflichtkurse in der Einführungsphase in Abstimmung mit den schuleigenen Arbeitsplänen fest,
- stimmt die fachbezogenen Arbeitspläne der Einführungsphase auf die Arbeitspläne abgebender Schulformen ab,
- entscheidet, welche Schulbücher und Unterrichtsmaterialien eingeführt werden sollen,
- trifft Absprachen zur einheitlichen Verwendung der Fachsprache und der fachbezogenen Hilfsmittel,
- trifft für die Einführungsphase Absprachen über die Anzahl und Verteilung verbindlicher Lernkontrollen im Schuljahr,
- trifft Absprachen zur Konzeption und zur Bewertung von schriftlichen, mündlichen und fachspezifischen Leistungen und bestimmt deren Verhältnis bei der Festlegung der Zeugnisnote,
- wirkt mit bei der Erstellung des fächerübergreifenden Konzepts zur Beruflichen Orientierung und greift das Konzept im schuleigenen Arbeitsplan auf,
- entwickelt ein fachbezogenes Konzept zum Einsatz von Medien im Zusammenhang mit dem schulinternen Mediencurriculum,
- wirkt mit bei der Entwicklung des Förderkonzepts der Schule und stimmt die erforderlichen Maßnahmen zur Umsetzung ab,
- initiiert ggf. die Nutzung außerschulischer Lernorte, die Teilnahme an Wettbewerben etc.,
- initiiert Beiträge des Faches zur Gestaltung des Schullebens (Ausstellungen, Projektstage etc.) und trägt zur Entwicklung des Schulprogramms bei und
- ermittelt Fortbildungsbedarfe innerhalb der Fachgruppe und entwickelt Fortbildungskonzepte für die Fachlehrkräfte und informiert sich über die Ergebnisse.

## Anhang

### A 1 Operatoren für die Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Physik)

Ein wichtiger Bestandteil jeder Aufgabenstellung sind Operatoren. Sie bezeichnen als Handlungsverben diejenigen Tätigkeiten, die vom Prüfling bei der Bearbeitung von Prüfungsaufgaben ausgeführt werden sollen.

Operatoren werden durch den Kontext der Prüfungsaufgabe, die Formulierung bzw. Gestaltung der Aufgabenstellung sowie durch den Bezug zu Textmaterialien, Abbildungen oder Problemstellungen konkretisiert bzw. präzisiert. Die Verwendung eines Operators lässt keinen Rückschluss auf den Anforderungsbereich zu.

Die folgenden Operatoren werden in den naturwissenschaftlichen Fächern einheitlich verwendet.

Operator	Erläuterung
ableiten	auf der Grundlage von Erkenntnissen oder Daten sachgerechte Schlüsse ziehen
abschätzen	durch begründete Überlegungen Größenwerte angeben
analysieren	wichtige Bestandteile, Eigenschaften oder Zusammenhänge auf eine bestimmte Fragestellung hin herausarbeiten <i>Chemie zusätzlich:</i> einen Sachverhalt experimentell prüfen
anwenden	einen bekannten Sachverhalt oder eine bekannte Methode auf etwas Neues beziehen
aufbauen eines Experiments	Objekte und Geräte zielgerichtet anordnen und kombinieren
aufstellen, formulieren ( <i>Biologie und Chemie</i> )	chemische Formeln, Gleichungen, Reaktionsgleichungen (Wort- oder Formelgleichungen), Reaktionsmechanismen entwickeln
Hypothesen aufstellen	eine Vermutung über einen unbekanntem Sachverhalt formulieren, die fachlich fundiert begründet wird
angeben, nennen	Formeln, Regeln, Sachverhalte, Begriffe, Daten ohne Erläuterung aufzählen bzw. wiedergeben
auswerten	Beobachtungen, Daten, Einzelergebnisse oder Informationen in einen Zusammenhang stellen und daraus Schlussfolgerungen ziehen
begründen	Gründe oder Argumente für eine Vorgehensweise oder einen Sachverhalt nachvollziehbar darstellen
berechnen	die Berechnung ist ausgehend von einem Ansatz darzustellen
beschreiben	Beobachtungen, Strukturen, Sachverhalte, Methoden, Verfahren oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren
bestätigen	die Gültigkeit einer Aussage (z.B. einer Hypothese, einer Modellvorstellung, eines Naturgesetzes) zu einem Experiment, zu vorliegenden Daten oder zu Schlussfolgerungen feststellen
beurteilen	das zu fällende Sachurteil ist mit Hilfe fachlicher Kriterien zu begründen
bewerten	einen Sachverhalt vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Werte und Normen einschätzen und dadurch zu einem Werturteil gelangen

darstellen	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge strukturiert und unter Verwendung der Fachsprache formulieren, auch mithilfe von Zeichnungen und Tabellen
dokumentieren (in Zusammenhang mit dem GTR/CAS)	bei Verwendung eines elektronischen Rechners den Lösungsweg nachvollziehbar darstellen
durchführen eines Experiments	an einer Experimentieranordnung zielgerichtete Messungen und Änderungen vornehmen oder eine Experimentieranleitung umsetzen
diskutieren, erörtern	Argumente zu einer Aussage oder These einander gegenüberstellen und abwägen
entwickeln	Sachverhalte und Methoden zielgerichtet miteinander verknüpfen: eine Hypothese, eine Skizze, ein Experiment, ein Modell oder eine Theorie schrittweise weiterführen und ausbauen
erklären	einen Sachverhalt nachvollziehbar und verständlich machen, indem man ihn auf Regeln und Gesetzmäßigkeiten zurückführt
erläutern	einen Sachverhalt veranschaulichend darstellen und durch zusätzliche Informationen verständlich machen
ermitteln	ein Ergebnis oder einen Zusammenhang rechnerisch, grafisch oder experimentell bestimmen
herleiten	mithilfe bekannter Gesetzmäßigkeiten einen Zusammenhang zwischen chemischen bzw. physikalischen Größen herstellen
interpretieren, deuten	naturwissenschaftliche Ergebnisse, Beschreibungen und Annahmen vor dem Hintergrund einer Fragestellung oder Hypothese in einen nachvollziehbaren Zusammenhang bringen
ordnen, zuordnen	Begriffe oder Gegenstände auf der Grundlage bestimmter Merkmale systematisch einteilen
planen	zu einem vorgegebenen Problem (auch experimentelle) Lösungswege entwickeln und dokumentieren
protokollieren	Beobachtungen oder die Durchführung von Experimenten zeichnerisch bzw. fachsprachlich richtig wiedergeben
prüfen, überprüfen	Sachverhalte oder Aussagen an Fakten oder innerer Logik messen und eventuelle Widersprüche aufdecken
skizzieren	Sachverhalte, Prozesse, Strukturen oder Ergebnisse übersichtlich grafisch darstellen
untersuchen	Sachverhalte oder Phänomene mithilfe fachspezifischer Arbeitsweisen erschließen
vergleichen	Gemeinsamkeiten und Unterschiede kriteriengeleitet herausarbeiten
zeichnen	Objekte grafisch exakt darstellen
zusammenfassen	das Wesentliche in konzentrierter Form herausstellen

## A 2 Dokumentation eines Lösungsweges bei Verwendung eines elektronischen Rechenwerkzeugs

An der folgenden Aufgabe soll beispielhaft gezeigt werden, wie eine angemessene Dokumentation bei Verwendung elektronischer Rechenwerkzeuge aussehen könnte. Die linke Spalte enthält die Dokumentation der gedanklichen Schritte bis hin zum Ergebnis. In der rechten Spalte werden wesentliche Ergebnisse aus dem Display des elektronischen Rechenwerkzeugs wiedergegeben.

Dabei sollten folgende Punkte Beachtung finden:

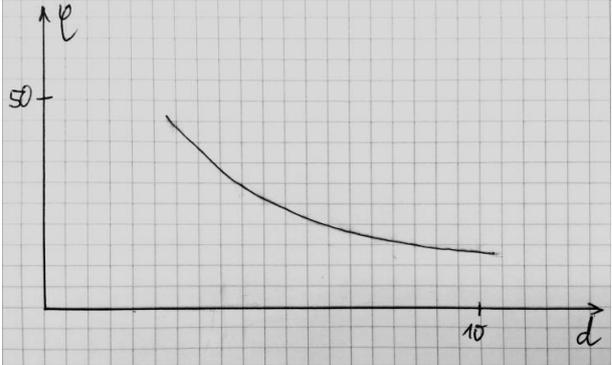
- qualitative Beschreibung der Abhängigkeit der Messgrößen,
- begründete Vermutung über die Art des funktionalen Zusammenhangs,
- Bestimmung des funktionalen Zusammenhangs (z. B. Regression, Produktbildung, ...),
- Formulierung eines Ergebnisses in physikalischen Größen und Einheiten.

### Aufgabe:

Ermitteln Sie unter Verwendung folgender Messwerte den funktionalen Zusammenhang zwischen dem Plattenabstand  $d$  und der Kapazität  $C$  eines Plattenkondensators.

Plattenabstand $d$ in mm	3,0	4,0	5,2	6,1	6,9	7,7	8,4	9,8
Kapazität $C$ in pF	44,3	32,8	25,3	21,6	19,0	17,3	15,6	13,3

### Beispiel 1: Regression

Dokumentation des Vorgehens	Display-Dokumentation
<p>Da sich die Kapazität bei einer ungefähren Verdopplung des Plattenabstands in etwa halbiert, gehe ich von einem antiproportionalen Zusammenhang aus.</p> <p>Diesen überprüfe ich durch eine Potenzregression.</p> <p>Da der Exponent <math>b \approx -1</math> ist, ist meine Vermutung sinnvoll.</p> <p>Die erhaltene Gleichung übersetzt in physikalische Symbole lautet:</p> $C \approx 1,34 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot \text{mm} \cdot d^{-1}$ <p>oder</p> $C \approx 1,34 \cdot 10^{-13} \text{ F} \cdot \text{m} \cdot \frac{1}{d}$	 <p>[Hinweis: Zur Dokumentation reicht eine Skizze der Displayanzeige wie im obigen Beispiel aus.]</p> $y = a \cdot x^b$ $a = 133,61$ $b = -1,0083$

**Beispiel 2: Produktgleichheit**

Dokumentation des Vorgehens	Display-Dokumentation								
<p>Da sich die Kapazität bei einer ungefähren Verdopplung des Plattenabstands in etwa halbiert, gehe ich von einem antiproportionalen Zusammenhang aus.</p> <p>Diesen überprüfe ich durch Berechnung des Produkts <math>d \cdot C</math>.</p> <p>Da dieses Produkt in guter Näherung konstant ist, ist meine Annahme sinnvoll.</p> <p>Die erhaltene Gleichung übersetzt in physikalische Symbole lautet:</p> $C \approx 1,32 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot \text{mm} \cdot \frac{1}{d}$ <p>oder</p> $C \approx 1,32 \cdot 10^{-13} \text{ F} \cdot \text{m} \cdot \frac{1}{d}$	<p>Produktbildung:</p> <table border="1" data-bbox="829 555 1281 680"> <tbody> <tr> <td>132,9</td> <td>131,2</td> <td>131,56</td> <td>131,76</td> </tr> <tr> <td>131,1</td> <td>133,21</td> <td>131,04</td> <td>130,34</td> </tr> </tbody> </table> <p>Mittelwert der Produkte: 131,6388</p>	132,9	131,2	131,56	131,76	131,1	133,21	131,04	130,34
132,9	131,2	131,56	131,76						
131,1	133,21	131,04	130,34						

### A 3 Abschätzung von Messunsicherheiten im Physikunterricht

Grundlage für die folgende Darstellung sind DIN 1319 und DIN 1333.

Die dort festgelegten Regeln sind für die Schule zu anspruchsvoll und müssen angemessen reduziert werden. Daher wird die folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

- Fachsprachlich angegebene Werte folgen der Konvention, dass die letzte angegebene Stelle durch Rundung entstanden ist.
- Bis zur Angabe des Endergebnisses wird mit der vollen Taschenrechnergenauigkeit gerechnet.
- Ergebnisse werden mit einer um eins höheren Anzahl signifikanter Stellen angegeben, als die Messgröße mit der geringsten Anzahl signifikanter Stellen aufweist. Auf die letzte Stelle ist zu runden.

Bei expliziter Betrachtung von Messunsicherheiten (**nur eA**):

- Ausgehend von der Regel, dass die relative Messunsicherheit einer als Produkt bzw. Quotient berechneten Größe niemals kleiner sein kann als die größte relative Messunsicherheit aller Eingangsgrößen, darf die relative Messunsicherheit des Ergebnisses auch in anderen Fällen auf diese Weise abgeschätzt werden.
- Auf dieser Grundlage berechnete relative bzw. absolute Unsicherheiten werden stets mit zwei signifikanten Stellen angegeben. Das Endergebnis wird dann mit der gleichen Anzahl an Dezimalstellen wie die absolute Unsicherheit angegeben.

**Beispiel 1:** Experimentelle Bestimmung der Wellenlänge von Licht am Gitter

**Sachlage:**

Angegebener Wert: Spaltabstand  $d = \frac{1}{500}$  mm =  $2,00 \cdot 10^{-6}$  m

Gemessene Werte: Abstand Gitter-Schirm  $l = 320$  mm,  
Abstand der Maxima 0. und 1. Ordnung  $s = 105$  mm

daraus berechnet:  $\lambda = d \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{s}{l}\right)\right) = 623,540 \dots$  nm

**Ohne Betrachtung von Messunsicherheiten (gA und eA):**

Alle Größen sind mit drei signifikanten Stellen angegeben.

Daher soll man das hieraus erhaltene Ergebnis mit vier signifikanten Stellen angeben:  $\lambda \approx 623,5$  nm.

**Mit Betrachtung von Messunsicherheiten (nur eA):**

Die drei absoluten Messunsicherheiten werden aufgrund der Herstellerangaben ( $\Delta d = 0,005 \cdot 10^{-6}$  m) und des Vorgehens bei der Messung im Experiment ( $\Delta l = 1$  mm;  $\Delta s = 2$  mm) abgeschätzt und die Werte der relativen Messunsicherheiten daraus berechnet.

Ein Vergleich zeigt, dass die Messung von  $s$  den größten Beitrag zur Messunsicherheit liefert:

$$\frac{\Delta s}{s} \approx \frac{2 \text{ mm}}{105 \text{ mm}} \approx 1,904 \dots \%$$

Die relative Messunsicherheit der zu berechnenden Wellenlänge kann daher nicht kleiner als 1,9 % sein.

Unter Berücksichtigung der Dezimalstellen der absoluten Messunsicherheit ist das Endergebnis dann:

$$\lambda \approx 624 \text{ nm} \pm 12 \text{ nm}.$$

## Beispiel 2: Rechenaufgabe zur Stromwaage

### Sachlage:

Angegebene Werte: Kraft  $F = 15,1 \text{ mN}$   
Stromstärke  $I = 5,64 \text{ A}$   
Leiterlänge  $s = 4,0 \text{ cm}$   
daraus berechnet:  $B = \frac{F}{I \cdot s} = 0,066932 \dots \text{ T}$

### Ohne Betrachtung von Messunsicherheiten (gA und eA):

Die Leiterlänge  $s$  ist mit zwei signifikanten Stellen angegeben.

Daher soll man das hieraus erhaltene Ergebnis mit drei signifikanten Stellen angeben:  $B \approx 66,9 \text{ mT}$ .

### Mit Betrachtung von Messunsicherheiten (nur eA):

Die drei absoluten Messunsicherheiten werden aufgrund der Zahlenangaben in der Aufgabenstellung abgeschätzt ( $\Delta F = 0,05 \text{ mN}$ ,  $\Delta I = 5 \text{ mA}$ ,  $\Delta s = 0,5 \text{ mm}$ ) und die Werte der relativen Messunsicherheiten daraus berechnet.

Ein Vergleich zeigt, dass die Messung von  $s$  den größten Beitrag zur Messunsicherheit liefert:

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{0,5 \text{ mm}}{4,0 \text{ cm}} = 1,25 \%$$

Unter Berücksichtigung der Dezimalstellen der absoluten Messunsicherheit ist das Endergebnis dann:

$$B \approx 66,93 \text{ mT} \pm 0,84 \text{ mT}.$$

Die relative Messunsicherheit der zu berechnenden Flussdichte würde durch  $1,3 \%$  angegeben.

Wäre die Leiterlänge im Material mit  $s = 4 \text{ cm}$  angegeben, würde das Ergebnis  $B \approx 66,9 \text{ mT} \pm 8,4 \text{ mT}$  lauten.

### Hinweis:

Bei Berechnungen mit Messgrößen enthalten die angegebenen Werte und das ermittelte Ergebnis infolge der Zahl der angegebenen signifikanten Stellen implizite Aussagen über die Messunsicherheit.

Berücksichtigt man die vorliegenden Messunsicherheiten explizit, so kann es notwendig sein, dass Ergebnis mit einer Stellenzahl anzugeben, die von der Regel zur Zahl der signifikanten Stellen abweicht (vgl. Beispiel 1 bzw. Beispiel 2). Die maßgebliche Information über die Messunsicherheit ist in diesem Fall nicht in der Stellenzahl, sondern in der angegebenen Messunsicherheit enthalten.