

**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:

Michael Frenzel, Osnabrück

Jens Gössing, Wolfsburg

Ulf Hampe, Wolfsburg

Daniel Haubrock, Osnabrück

Peter Krökel, Wolfsburg

Thomas Müller, Hannover

Michael Rode, Lüneburg

Die Ergebnisse des gesetzlich vorgeschriebenen Anhörungsverfahrens sind berücksichtigt worden.

Herausgegeben vom Niedersächsischen Kultusministerium (2017)

30159 Hannover, Schiffgraben 12

Druck:

Unidruck

Weidendamm 19

30167 Hannover

Das Kerncurriculum kann als PDF-Datei vom Niedersächsischen Bildungsserver (NIBIS) (<http://www.cuvo.nibis.de>) heruntergeladen werden.



Inhalt	Seite
1 Bildungsbeitrag des Faches Physik	5
2 Kompetenzorientierter Unterricht	7
2.1 Kompetenzbereiche	7
2.2 Kompetenzentwicklung	8
3 Erwartete Kompetenzen	14
3.1 Prozessbezogene Kompetenzen	14
3.2 Inhaltsbezogene Kompetenzen mit Zuordnung prozessbezogener Kompetenzen in der Einführungsphase	24
3.3 Inhaltsbezogene Kompetenzen mit Zuordnung prozessbezogener Kompetenzen in der Qualifikationsphase	30
4 Leistungsfeststellung und Leistungsbewertung	43
5 Aufgaben der Fachkonferenz	45
 Anhang	
A 1 Operatoren für die Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Physik)	46
A 2 Beispiel für die Aufgabenstellung in einer Leistungsaufgabe	48
A 3 Beispiel für die Dokumentation eines Lösungsweges bei Verwendung eines elektronischen Rechenwerkzeugs	50
A 4 Abschätzung von Messunsicherheiten im Physikunterricht	52

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 Schülerinnen und Schüler 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 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 Schülerinnen und Schülern 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 Schülerinnen und Schüler gestärkt.

Im Physikunterricht lernen die Schülerinnen und Schüler in besonderer Weise den messenden Zugang zu naturwissenschaftlichen Fragestellungen kennen. Sie 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 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 Schülerinnen und Schüler 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 Weiterbildung 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 Schülerinnen und Schüler anzuregen, zu unterstützen, zu fördern und langfristig zu sichern. Dies gilt auch für die fachübergreifenden Zielsetzungen der Persönlichkeitsbildung.

2.1 Kompetenzbereiche

Die in den Kapiteln 3.1 bis 3.3 aufgeführten erwarteten Kompetenzen lassen sich folgenden Kompetenzbereichen zuordnen:

Prozessbezogene Kompetenzbereiche	Kompetenzbereich Fachwissen
<i>Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung</i> • Physikalisch argumentieren • Probleme lösen • Planen, experimentieren, auswerten • Mathematisieren • Mit Modellen arbeiten • Erkenntniswege der Physik beschreiben <i>Kompetenzbereich Kommunikation</i> • Kommunizieren und dokumentieren <i>Kompetenzbereich Bewertung</i> Bewerten	<i>Das verbindliche Fachwissen wird in die folgenden Themenbereiche untergliedert:</i> • Dynamik (Einführungsphase) • Elektrizität • Schwingungen und Wellen • Quantenobjekte • Atomhülle • Atomkern

In der horizontalen Anordnung der Tabellen des Kapitels 3.1 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.

Die Fachkonferenz 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 Schülerinnen und Schüler 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 Schülerperspektive ausgehen und an den Interessenlagen und Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler orientiert sein.

Sachgerecht angelegter Physikunterricht lässt Schülerinnen und Schüler 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 wegen verwendet. Die Gefahr eines unverstandenen und inhaltsleeren Umgangs mit 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 Schülerinnen und Schüler

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 Schülerinnen und Schüler 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 Schülerinnen und Schüler 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:

- Einführung 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,
- Ausdifferenzierung der verbalen und mathematischen Beschreibung von Zusammenhängen physikalischer Größen,
- Interesse für physikalische Betrachtungsweisen durch Behandlung altersgemäßer Kontexte, z. B. von Aspekten der Mobilität, zu wecken,
- vertiefende Einübung physikalischer Arbeitsmethoden,
- quantitative Behandlung ausgewählter Fachinhalte,

Lücken schließen, die sich durch die unterschiedlichen Bildungsgänge ergeben haben. Hierzu wählt die Fachkonferenz mindestens ein geeignetes Wahlmodul aus (vgl. Kapitel 3.2).

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 prozessbezogener 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 Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) Physik¹ erfüllt werden, andererseits sind die Inhalte so aufeinander abgestimmt, dass jeweils für spätere Bausteine erforderliche Vorkenntnisse bereitstehen. Darüber hinaus wurden an einzelnen Stellen Traditionen berücksichtigt, die den Physikunterricht nicht nur in Niedersachsen prägen. 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 Schülerinnen und Schüler zu vertiefen.

Weitere Aspekte der Unterrichtsgestaltung

Der Umgang mit den in der Abiturprüfung zugelassenen Hilfsmitteln ist vom Beginn des Unterrichts in der Einführungsphase an einzuüben. Neben der Verwendung der eingeführten Formelsammlung ist dabei besonderer Wert auf die sachgerechte Verwendung des eingeführten Rechenwerkzeugs zu legen. Möglichst in Abstimmung zwischen den Fachkonferenzen 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 3 gegeben.

¹ ¹ Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Physik (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 1.12.1989 i.d.F. vom 5.2.2004)

Zu den prozessbezogenen Kompetenzen gehört der sachgerechte Umgang mit Messunsicherheiten. Im Anhang A 4 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

- als *fünfstündiges Prüfungsfach* auf erhöhtem Anforderungsniveau,
- als *dreistündiges Prüfungsfach* auf grundlegendem Anforderungsniveau,
- an Fachgymnasien, dem Abendgymnasium und dem Kolleg als *zweistündiges Ergänzungsfach* auf grundlegendem Anforderungsniveau

angeboten werden.

Die Ausführungen für die Qualifikationsphase beziehen sich nicht auf das zweistündige Ergänzungsfach. In diesem Fall trifft die Fachkonferenz eine inhaltliche Auswahl aus dem Kompetenzbereich Fachwissen. Ziel des zweistündigen Unterrichts ist es, die Allgemeinbildung der Schülerinnen und Schüler über die Physik aufzubauen bzw. zu erweitern.

Die Kursarten in der Qualifikationsphase haben unterschiedliche Zielsetzungen. Die Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau dienen der Vermittlung einer wissenschaftspropädeutisch orientierten Grundbildung, die Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau der systematischen, vertieften und reflektierten wissenschaftspropädeutischen Arbeit. Die Aufgaben im Anhang A 2 konkretisieren Unterschiede zwischen den Anforderungsniveaus beispielhaft.

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 Schülerinnen und Schülern erzeugen.

In der Erarbeitungsphase helfen Aufgaben den Schülerinnen und Schülern 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.

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 Schülerinnen und Schüler daher wesentlich beim Kompetenzaufbau. Ausgehend vom Leistungsvermögen der Schülerinnen und Schüler 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.

Bei Aufgaben zum Kompetenznachweis ist darauf zu achten, dass die gestellten Anforderungen für die Schülerinnen und Schüler 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 den Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) Physik alle drei Anforderungsbereiche (AFB) zu berücksichtigen, dabei liegt der Schwerpunkt im AFB II, den AFB I gilt es deutlich stärker zu berücksichtigen als den AFB III.

Anforderungsbereich I

Im Anforderungsbereich I beschränken sich die Aufgabenstellungen auf die Reproduktion und die Anwendung einfacher Sachverhalte und Fachmethoden, das Darstellen von Sachverhalten in vorgegebener Form sowie die Darstellung einfacher Bezüge.

Anforderungsbereich II

Im Anforderungsbereich II verlangen die Aufgabenstellungen die Reorganisation und das Übertragen komplexerer Sachverhalte und Fachmethoden, die situationsgerechte Anwendung von Kommunikationsformen, die Wiedergabe von Bewertungsansätzen sowie das Herstellen einfacher Bezüge.

Anforderungsbereich III

Im Anforderungsbereich III verlangen die Aufgabenstellungen das problembezogene Anwenden und Übertragen komplexer Sachverhalte und Fachmethoden, die situationsgerechte Auswahl von Kommunikationsformen, das Herstellen von Bezügen und das Bewerten von Sachverhalten.

3 Erwartete Kompetenzen

3.1 Prozessbezogene Kompetenzen

Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung

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.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Schülerinnen und Schüler ...	Die Schülerinnen und Schüler ...
• geben ihre erworbenen Kenntnisse wieder und nutzen erlerntes Vokabular. • verwenden die erlernte Fachsprache zunehmend sicher und wählen die Sprachebene bewusst aus. • trennen physikalische Aspekte selbstständig von außerphysikalischen. • unterwerfen Vermutungen einer fachlich-kritischen Prüfung. • argumentieren mithilfe von Diagrammen linearer Funktionen und einfacher Potenzfunktionen. • setzen Darstellungen situationsgerecht ein.	• argumentieren insbesondere mithilfe von Kräften und Energiebilanzen. • verwenden die erlernte Fachsprache sicher und wählen die Sprachebene bewusst aus. • formulieren Hypothesen und überprüfen sie mithilfe von Experimenten. • 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.

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 Schülerinnen und Schüler 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 Schülerinnen und Schüler ...	Die Schülerinnen und Schüler ...
• ergänzen fehlende Informationen selbstständig und ziehen Schulbuch und Formelsammlung zur Problemlösung heran. • setzen ihre Kenntnisse über nichtlineare Zusammenhänge ein. • verwenden das eingeführte elektronische Rechenwerkzeug. • wählen geeignete Quellen selbst aus. • führen selbstverantwortlich ihre Notizen. • erkennen bekannte Zusammenhänge auch in einem komplexeren Umfeld.	• ziehen zusätzlich ausgewählte Fachliteratur zur Problemlösung heran. • nutzen Termumformungen für Deduktionen. • nutzen Experimente zur Problemlösung und schließen induktiv. • wenden Kenntnisse auf ausgewählte technische Anwendungen an. • übertragen Kenntnisse analog auf andere Situationen und verwenden dazu auch einfache mathematische Modelle. • nur eA: verwenden dazu einfache numerische Modelle.

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 zunächst 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.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Schülerinnen und Schüler ...	Die Schülerinnen und Schüler ...
• gehen zunehmend selbstständig mit dem Experimentiergerät um. • planen einfache Experimente zur Untersuchung ausgewählter, auch eigener Fragestellungen selbst und achten darauf, jeweils nur einen Parameter zu variieren. • legen selbstständig geeignete Messtabellen an. • fertigen auch nichtlineare Graphen an, nutzen das eingeführte elektronische Rechenwerkzeug zur Ermittlung funktionaler Zusammenhänge und erstellen eine geeignete Dokumentation der Arbeitsschritte. • tragen Ergebnisse von z. B. arbeitsteilig ausgeführten Experimenten sachgerecht und adressatenbezogen vor. • fertigen bei Bedarf Versuchsprotokolle selbstständig an.	• haben Erfahrungen im Ablesen von Werten an einem registrierenden Messinstrument (Oszilloskop und Interface) sowie im Umgang mit elektrischen Messinstrumenten. • haben Erfahrungen mit der Planung und der Durchführung auch von Schülerexperimenten. • dokumentieren Aufbau, Durchführung und Beobachtung von Experimenten. • nutzen zur Auswertung von Messergebnissen das eingeführte elektronische Rechenwerkzeug und dokumentieren ihr Vorgehen. • geben Messwerte mit einer reflektierten Anzahl signifikanter Stellen an. • geben das Ergebnis einer daraus berechneten Größe auf Aufforderung mit einer sinnvollen Anzahl signifikanter Stellen an. • nur eA: schätzen die Messunsicherheit eines Messergebnisses aus den Versuchsbedingungen ab und berechnen daraus die relative Messunsicherheit einer gemessenen Größe. • nur eA: schätzen eine Grenze für die relative Messunsicherheit einer aus Messdaten berechneten Größe sachgerecht ab.

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 auch ohne elektronische Hilfsmittel zu bewältigen. Die rechnergestützte Auswertung von Differenzengleichungen ermöglicht einen Zugang zu numerischen Verfahren.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Schülerinnen und Schüler ...	Die Schülerinnen und Schüler ...
• verwenden die wissenschaftliche Notation für Zahlenangaben und Vorsilben von Einheiten. • verwenden Größen und Einheiten und führen erforderliche Umrechnungen durch. • wechseln zwischen sprachlicher, grafischer und algebraischer Darstellung eines Zusammenhanges. • fertigen Grafen zu beliebigen Zusammenhängen an. • fertigen Ausgleichskurven zu Messdaten an und erläutern daran den Einfluss von Messunsicherheiten. • ermitteln funktionale Zusammenhänge aus Messdaten – auch mithilfe des eingeführten elektronischen Rechenwerkzeugs, dokumentieren ihre Arbeitsschritte und begründen ihre Entscheidungen.	• verwenden physikalische Symbole sachgerecht. • entnehmen grafischen Darstellungen und Termen die physikalischen Sachverhalte auch im Zusammenhang mit Ableitung und Fläche. • wählen geeignete Ausgleichskurven begründet aus. • ermitteln funktionale Zusammenhänge mithilfe des eingeführten elektronischen Rechenwerkzeugs. • geben Messwerte mit einer reflektierten Anzahl signifikanter Stellen an. • geben das Ergebnis einer daraus berechneten Größe auf Aufforderung mit einer sinnvollen Anzahl signifikanter Stellen an. • nur eA: schätzen die Messunsicherheit eines Messergebnisses aus den Versuchsbedingungen ab und berechnen daraus die relative Messunsicherheit einer gemessenen Größe. • nur eA: schätzen eine Grenze für die relative Messunsicherheit einer aus Messdaten berechneten Größe sachgerecht ab. • nutzen funktionale Zusammenhänge, Gleichungen und Termumformungen für deduktive Schlüsse und Begründungen. • dokumentieren Herleitungen sachgerecht. • stellen Zusammenhänge in Form von Funktionsgleichungen dar. • nur eA: stellen Zusammenhänge in Form von Differenzengleichungen dar und modellieren einfache Prozesse damit.

	• verwenden die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung zur mathematischen Beschreibung sowohl für Wellen als auch für Quanten. • nur eA: interpretieren das Quadrat der resultierenden Zeigerlänge oder das Quadrat der resultierenden Sinuskurve als Maß für die Nachweiswahrscheinlichkeit für einzelne Quantenobjekte.
--	---

Mit Modellen arbeiten

Physikalische Probleme werden durch Modellieren und Idealisieren einer Bearbeitung zugänglich gemacht. Modelle können dabei gegenständlich, ikonisch, grafisch, mathematisch sein oder Analogien verwenden. 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 Schülerinnen und Schüler ...	Die Schülerinnen und Schüler ...
• stellen Zusammenhänge in Form von grafischen Darstellungen dar. • überprüfen Hypothesen an ausgewählten Beispielen durch selbst entworfene Experimente. • ziehen Modellvorstellungen als Hilfsmittel zur Problemlösung und Formulierung von Hypothesen heran. • beschreiben Idealisierungen in verschiedenen Situationen. • unterscheiden zwischen Modellvorstellung und Realität.	• stellen Zusammenhänge in Form von Funktionsgleichungen dar. • nur eA: modellieren einfache Prozesse mit Differenzengleichungen. • erläutern das Modell des Potenzialtopfs und ziehen es als heuristisches Hilfsmittel zur Problemlösung heran. • verwenden die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung zur Lösung von Problemen in den Themenbereichen Wellen und Quanten. • erkennen Strukturgleichheiten und nutzen sie dafür, vorhandene Kenntnisse angeleitet auf andere Situationen zu übertragen. • unterscheiden zwischen Modellvorstellung, ikonischer Repräsentation und Realität.

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 Beurteilung von Messgenauigkeiten 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. Je nach individuellem Interesse werden die hier beschriebenen Kompetenzen bei der Unterrichtsplanung bestimmten Inhalten zugeordnet.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Schülerinnen und Schüler ...	Die Schülerinnen und Schüler ...
• schätzen die absolute Unsicherheit beim Messen einzelner Größen ab. • beurteilen den Gültigkeitsbereich untersuchter Zusammenhänge.	• nur eA: beurteilen ein Ergebnis aufgrund einer Betrachtung der Messunsicherheiten sachgerecht und begründet. • erläutern, dass man mithilfe experimenteller Daten Hypothesen zwar widerlegen, aber nie beweisen kann. • erörtern die Funktion eines Experiments bei der Entscheidung über Hypothesen bzw. zur Initiierung von Ideen. • erläutern die Vorgehensweise zur Informationsgewinnung aus Experimenten. • erläutern die Bedeutung von Modellvorstellungen als Hilfsmittel zur Problemlösung und Formulierung von Hypothesen. • nur eA: erläutern die Besonderheiten der quantenphysikalischen Sichtweise.

Kompetenzbereich Kommunikation

Kommunizieren

Schülerinnen und Schüler 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 Schülerinnen und Schüler ...	Die Schülerinnen und Schüler ...
• wählen die Sprachebene adressatengerecht aus. • strukturieren und interpretieren fachbezogene Darstellungen. • wählen Informationen aus Formelsammlung und anderen geeigneten Quellen sachgerecht aus. • verfassen Berichte selbstständig. • stellen die Ergebnisse einer selbstständigen Arbeit zu einem Thema in angemessener Form schriftlich dar. • referieren über selbst durchgeführte Experimente sachgerecht und adressatenbezogen und wählen dazu geeignete Medien aus. • entwickeln die Arbeit in der Gruppe weiter.	• verwenden die Fachsprache in den behandelten Gebieten sicher. • nur eA: strukturieren und interpretieren fachbezogene Darstellungen für komplexe Sachverhalte, Phänomene in der Natur und Anwendungen in der Technik. • präsentieren Arbeitsergebnisse situations- und adressatengerecht unter Verwendung geeigneter Darstellungsmethoden. • führen zu einem Sachverhalt ein Fachgespräch auf angemessenem Niveau. • arbeiten sachgerecht und zielgerichtet in einer Gruppe.

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, ohne in eine ritualisierte Art des Protokolls zu verfallen. Zur Dokumentation gehört die schrittweise 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 dann zu, wenn elektronische Rechenhilfen benutzt werden. Ein Beispiel für eine geeignete Darstellung befindet sich im Anhang A 3.

am Ende der Einführungsphase	zusätzlich am Ende der Qualifikationsphase
Die Schülerinnen und Schüler ...	Die Schülerinnen und Schüler ...
• führen ihre Notizen selbstständig. • dokumentieren ihre Arbeitsschritte auch bei selbst geplanten Experimenten oder Auswertungen in geeigneter schriftlicher Darstellung. • nutzen vereinbarte grafische Darstellungen zur Veranschaulichung. • fertigen Messtabellen selbstständig an und geben Größensymbole und Einheiten an. • nutzen grafische Darstellungen für beliebige Zusammenhänge, auch unter Benutzung des eingeführten elektronischen Rechenwerkzeugs. • stellen ihre Kenntnisse in einem Begriffsnetz dar.	• haben Erfahrungen mit der selbstständigen Dokumentation von Versuchsergebnissen. • ziehen zur Dokumentation selbstständig Bilder, Texte, Skizzen und Diagramme heran. • sind geübt in der vereinbarten Dokumentation von Arbeitsschritten mit dem eingeführten elektronischen Rechenwerkzeug.

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 die Anlässe gezielt zu nutzen. Die 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 Schülerinnen und Schüler ... • trennen physikalische Aspekte selbstständig von außerphysikalischen. • wenden ihr Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr an.	Die Schülerinnen und Schüler sind vertraut mit physiktypischen Bewertungsansätzen, indem sie ... • den Aspektcharakter der Wissenschaft Physik an ausgewählten Beispielen erläutern. • die Beziehung zwischen Physik und Technik an ausgewählten Beispielen darstellen. • Beispiele für die historische oder gesellschaftliche Bedingtheit physikalischer Sichtweisen benennen.

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 die Fachkonferenz ein eigenes Wahlmodul aus einem anderen Inhaltsbereich plant, wenn sichergestellt ist, dass Arbeitsweisen und Anforderungen aus dem Unterricht der Qualifikationsphase beispielhaft dargestellt werden bzw. die Inhalte geeignet sind, Defizite aus dem Sekundarbereich I auszugleichen. Alle Physikkurse der Einführungsphase müssen dabei gleiche Voraussetzungen für den Eintritt in die Qualifikationsphase schaffen.

Dynamik

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen
Die Schülerinnen und Schüler...	
• beschreiben den freien Fall und den waagerechten Wurf mithilfe von t-s- und t-v-Zusammenhängen.	• wenden die Kenntnisse über diese Zusammenhänge zur Lösung ausgewählter Aufgaben und Probleme an. • werten Daten aus selbst durchgeführten Experimenten aus. • übertragen die Ergebnisse auf ausgewählte gleichmäßig beschleunigte Bewegungen. • beschreiben die Idealisierungen, die zum Begriff <i>freier Fall</i> führen. • erläutern die Ortsabhängigkeit der Fallbeschleunigung. • übersetzen zwischen sprachlicher, grafischer und algebraischer Darstellung dieser Zusammenhänge und verwenden insbesondere die Begriffe <i>Beschleunigung</i> und <i>Geschwindigkeit</i> sachgerecht.
• nennen die Grundgleichung der Mechanik. • erläutern die sich daraus ergebende Definition der Krafteinheit. • erläutern die drei newtonschen Axiome.	• wenden diese Gleichung zur Lösung ausgewählter Aufgaben und Probleme an. • deuten den Ortsfaktor als Fallbeschleunigung. • wenden ihr Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr an.
• beschreiben die gleichförmige Kreisbewegung mithilfe der Begriffe <i>Umlaufdauer</i>, <i>Bahngeschwindigkeit</i> und <i>Zentripetalbeschleunigung</i>. • nennen die Gleichung für die Zentripetalkraft.	• begründen die Entstehung der Kreisbewegung mittels der richtungsändernden Wirkung der Zentripetalkraft. • unterscheiden dabei zwischen Alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung, insbesondere hinsichtlich der Vokabel <i>Fliehkraft</i>. • wenden ihr Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr an.
• nennen die Gleichung für die kinetische Energie. • formulieren den Energieerhaltungssatz der Mechanik.	• wenden diese Zusammenhänge als Alternative zur Lösung einfacher Aufgaben und Probleme an. • planen einfache Experimente zur Überprüfung des Energieerhaltungssatzes, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse. • argumentieren mithilfe des Energieerhaltungssatzes bei einfachen Experimenten. • wenden ihr Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr an.

Wahlmodule für die Einführungsphase

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 Schülerinnen und Schüler ...	
• beschreiben ein Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Luft und einem anderen Medium.	• werten in diesem Zusammenhang Messwerte angeleitet aus.
• vergleichen Ton, Klang und Geräusch anhand der zugehörigen Schwingungsbilder. • beschreiben die Frequenz als Maß für die Tonhöhe und die Amplitude als Maß für die Lautstärke eines akustischen Signals. • beschreiben die Lautstärke von Signalen mithilfe des Schalldruckpegels. • erläutern den Zusammenhang zwischen Frequenzverhältnissen und musikalischen Intervallen.	• führen ein Experiment mit Mikrofon und registrierendem Messinstrument durch, um Schwingungsbilder verschiedener Klangerzeuger aufzunehmen. • bestimmen die Frequenzen der zugehörigen periodischen Signale. • wenden Schallpegelmessinstrumente an, um Aussagen über die Gefährdung durch Lärm zu treffen. • beschreiben Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Schwingungsbildern von gleichen Noten, die auf verschiedenen Instrumenten gespielt werden.
• beschreiben Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei der Frequenzanalyse des Signals gleicher Noten, die auf verschiedenen Instrumenten gespielt werden. • erläutern den Begriff <i>Klangfarbe</i>.	• wenden dazu Ergebnisse der Frequenzanalyse von Tönen und Klängen an. • bestätigen die Beziehung $f_n = (n+1) \cdot f_0$ zwischen Frequenz des n-ten Obertons und Frequenz f_0 des Grundtons.

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 Schülerinnen und Schüler ...	
• beschreiben das Kern-Hülle-Modell des Atoms und erläutern den Begriff <i>Isotop</i>.	• deuten das Phänomen der Ionisation mithilfe dieses Modells.
• beschreiben die ionisierende Wirkung von Kernstrahlung und deren stochastischen Charakter. • beschreiben die grundlegende Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs.	• beschreiben die biologische Wirkung und ausgewählte medizinische Anwendungen.
• vergleichen α-, β-, γ- Strahlung anhand ihres Durchdringungsvermögens und ihrer Reichweite in Luft und beschreiben ihre Entstehung modellhaft.	• beurteilen Strahlenschutzmaßnahmen. • beschreiben die Ähnlichkeit von UV-, Röntgen-, γ -Strahlung und sichtbarem Licht und die Unterschiede hinsichtlich ihrer biologischen Wirkung.
• beschreiben den radioaktiven Zerfall eines Stoffes unter Verwendung des Begriffes <i>Halbwertszeit</i>.	• bestimmen die Halbwertszeit durch zeichnerische Auswertung der Abklingkurve. • nehmen Stellung zur Problematik der Lagerung des radioaktiven Abfalls.

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 Schülerinnen und Schüler ...	
• erläutern die Entstehung eines Bildes an Linsen. • beschreiben den Einfluss verschiedener Brennweiten auf die Größe und Lage des Bildes.	• führen Experimente zur Erzeugung optischer Abbildungen durch. • konstruieren Bilder mithilfe ausgezeichneter Strahlen. • bestimmen den Abbildungsmaßstab.
• beschreiben die Eigenschaften des Bildes in Abhängigkeit von der Gegenstandsweite.	• modellieren optische Abbildungen mithilfe von dynamischer Geometriesoftware. • überprüfen die theoretischen Vorhersagen anhand entsprechender Experimente.
• nennen die Gleichung für den Zusammenhang zwischen Brenn-, Gegenstands- und Bildweite.	• leiten diese Gleichung her. • wenden die Gleichung in ausgewählten Situationen an.
• erläutern die grundlegende Funktionsweise ausgewählter Geräte (z. B. Beamer, Fotoapparat, Mikroskop, Fernrohr).	• beschreiben den Unterschied zwischen abbildenden und den Sehwinkel vergrößernden Geräten.

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 Schülerinnen und Schüler ...	
• nennen das Boltzmannsche Strahlungsgesetz.	• wenden dieses Gesetz auf ausgewählte Fragestellungen an.
• nennen das Wiensche Verschiebungsgesetz.	• wenden dieses Gesetz auf Beobachtungen an verschiedenen Lichtquellen an.
• beschreiben die Einstellung eines Strahlungsgleichgewichts.	• deuten die zugehörigen Vorgänge als Folge von Reflexions-, Absorptions- bzw. Reemissionsvorgängen.
• beschreiben ein Experiment zur selektiven Absorption.	• übertragen das Ergebnis auf das unterschiedliche Absorptionsverhalten der klimarelevanten Gase gegenüber sichtbarem bzw. infrarotem Licht.
• stellen den Treibhauseffekt an einem geeignet vereinfachten Modell dar.	• wenden dazu vorgelegte grafische Darstellungen an. • erörtern an diesem Modell Aussagen und Grenzen der Modellierung. • beschreiben an diesem Modell die Auswirkungen von Veränderungen an einzelnen Parametern.

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 Schülerinnen und Schüler ...		
• beschreiben elektrische Felder durch ihre Kraftwirkungen auf geladene Probekörper.	• skizzieren Feldlinienbilder für das homogene Feld und das Feld einer Punktladung. • beschreiben die Bedeutung elektrischer Felder für eine technische Anwendung.	• skizzieren Feldlinienbilder für das homogene Feld und das Feld einer Punktladung. • beschreiben die Bedeutung elektrischer Felder für eine technische Anwendung.
• nennen die Einheit der Ladung und erläutern die Definition der elektrischen Feldstärke. • beschreiben ein Verfahren zur Bestimmung der elektrischen Feldstärke auf der Grundlage von Kraftmessungen.	• werten in diesem Zusammenhang Messreihen angeleitet aus.	• werten in diesem Zusammenhang Messreihen aus.
• beschreiben den Zusammenhang zwischen Ladung und elektrischer Stromstärke. • nennen die Definition der elektrischen Spannung als der pro Ladung übertragbaren Energie.		

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• beschreiben den Zusammenhang zwischen der Feldstärke in einem Plattenkondensator und der anliegenden Spannung. • geben die Energiebilanz für einen freien geladenen Körper im elektrischen Feld eines Plattenkondensators an.	• ermitteln angeleitet die Geschwindigkeit eines geladenen Körpers im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators mithilfe dieser Energiebilanz.	• ermitteln die Geschwindigkeit eines geladenen Körpers im homogenen elektrischen Feld eines Plattenkondensators mithilfe dieser Energiebilanz.
• beschreiben den Entladevorgang eines Kondensators mithilfe einer Exponentialfunktion.	• führen angeleitet Experimente zum Entladevorgang durch. • ermitteln aus den Messdaten den zugehörigen t-I-Zusammenhang. • begründen die Auswahl einer exponentiellen Regression auf der Grundlage der Messdaten. • ermitteln die geflossene Ladung mithilfe von t-I-Diagrammen.	• führen selbstständig Experimente zum Entladevorgang durch. • ermitteln aus den Messdaten die Parameter R bzw. C des zugehörigen t-I-Zusammenhangs und stellen diesen mit der Exponentialfunktion zur Basis e dar. • begründen die Auswahl einer exponentiellen Regression auf der Grundlage der Messdaten. • ermitteln die geflossene Ladung mithilfe von t-I-Diagrammen.
• nennen die Definition der Kapazität eines Kondensators.	• führen ein Experiment zur Bestimmung der Kapazität eines Kondensators durch. • beschreiben eine Einsatzmöglichkeit von Kondensatoren in technischen Systemen.	• planen ein Experiment zur Bestimmung der Kapazität eines Kondensators und führen es durch. • beschreiben eine Einsatzmöglichkeit von Kondensatoren in technischen Systemen. • berechnen die Kapazität eines Plattenkondensators aus seinen geometrischen Abmessungen.

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• beschreiben magnetische Felder durch ihre Wirkung auf Kompassnadeln. • ermitteln Richtung (Dreifingerregel) und Betrag der Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im homogenen Magnetfeld. • berechnen die magnetische Flussdichte B (Feldstärke B) im Inneren einer mit Luft gefüllten, schlanken Spule. • nennen die Definition der magnetischen Flussdichte B (Feldstärke B) in Analogie zur elektrischen Feldstärke.	• ermitteln die Richtung von magnetischen Feldern mit Kompassnadeln. • erläutern ein Experiment zur Bestimmung von B mithilfe einer Stromwaage. • begründen die Definition mithilfe geeigneter Messdaten.	• ermitteln die Richtung von magnetischen Feldern mit Kompassnadeln. • planen mit vorgegebenen Komponenten ein Experiment zur Bestimmung von B auf der Grundlage einer Kraftmessung. • führen ein Experiment zur Bestimmung von B durch und werten es aus. • begründen die Definition mithilfe dieser Messdaten.
• beschreiben die Bewegung von freien Elektronen: ○ unter Einfluss der Lorentzkraft, ○ unter Einfluss der Kraft im homogenen elektrischen Quersfeld, ○ nur eA: im Wien-Filter.	• begründen den prinzipiellen Verlauf der Bahnkurven.	• begründen den prinzipiellen Verlauf der Bahnkurven. • leiten vorstrukturiert die Gleichung für die Bahnkurve im homogenen elektrischen Quersfeld her.
• nur eA: beschreiben das physikalische Prinzip zur Bestimmung der spezifischen Ladung von Elektronen mithilfe des Fadenstrahlrohres.		• leiten dazu die Gleichung für die spezifische Ladung des Elektrons her und bestimmen die Elektronenmasse.

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• erläutern die Entstehung der Hallspannung.	• führen Experimente zur Messung von B mit einer Hallsonde durch. • skizzieren Magnetfeldlinienbilder für einen geraden Leiter und eine Spule.	• leiten die Gleichung für die Hallspannung in Abhängigkeit von der Driftgeschwindigkeit anhand einer geeigneten Skizze her. • führen selbstständig Experimente zur Messung von B mit einer Hallsonde durch. • skizzieren Magnetfeldlinienbilder für einen geraden Leiter und eine Spule.
• beschreiben die Erzeugung einer Induktionsspannung qualitativ.	• führen einfache qualitative Experimente zur Erzeugung einer Induktionsspannung durch.	• führen einfache qualitative Experimente zur Erzeugung einer Induktionsspannung durch.
• nur gA: nennen den Zusammenhang zwischen Induktionsspannung und einer linearen zeitlichen Änderung von B.	• werten geeignete Versuche bzw. Diagramme zur Überprüfung des Induktionsgesetzes für den Fall linearer Änderungen von B aus.	
• nur eA: wenden das Induktionsgesetz in differentieller Form auf vorgegebene lineare und sinusförmige Verläufe von Φ an.		• begründen den Verlauf von t-U-Diagrammen für lineare und sinusförmige Änderungen von B oder A. • werten geeignete Versuche bzw. Diagramme zur Überprüfung des Induktionsgesetzes aus. • stellen technische Bezüge hinsichtlich der Erzeugung von Wechselspannung dar.

Schwingungen und Wellen

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
- stellen harmonische Schwingungen grafisch dar. - beschreiben harmonische Schwingungen mithilfe von Amplitude, Periodendauer und Frequenz.	- verwenden die Zeigerdarstellung oder Sinuskurven zur grafischen Beschreibung. - haben Erfahrungen im Ablesen von Werten an einem registrierenden Messinstrument (Oszilloskop und Interface).	- verwenden die Zeigerdarstellung oder Sinuskurven zur grafischen Beschreibung. - haben Erfahrungen im Ablesen von Werten an einem registrierenden Messinstrument (Oszilloskop und Interface).
geben die Gleichung für die Periodendauer eines Feder-Masse-Pendels und das lineare Kraftgesetz an.	bestätigen die zugehörigen Abhängigkeiten experimentell.	- untersuchen die zugehörigen Abhängigkeiten experimentell. - ermitteln geeignete Ausgleichskurven. - wenden diese Verfahren auf andere harmonische Oszillatoren an.
nur eA: beschreiben die Schwingung eines Feder-Masse-Pendels mithilfe von Energieumwandlungen. nur eA: beschreiben die Bedingung, unter der bei einer erzwungenen Schwingung Resonanz auftritt.		- deuten in diesem Zusammenhang die zugehörigen t-s- und t-v-Diagramme. - erläutern den Begriff <i>Resonanz</i> anhand eines Experiments.

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• nur eA: beschreiben den Aufbau eines elektromagnetischen Schwingkreises.		• beschreiben in Analogie zum Feder-Masse-Pendel die Energieumwandlungen in einem Schwingkreis qualitativ. • beschreiben ein Experiment zur Erzeugung einer Resonanzkurve. • ermitteln die Abhängigkeit der Frequenz der Eigenschwingung von der Kapazität experimentell anhand eines Resonanzversuchs. • beschreiben die Funktion eines RFID-Chips als technische Anwendung von Schwingkreisen.
• beschreiben die Ausbreitung harmonischer Wellen. • beschreiben harmonische Wellen mithilfe von Periodendauer, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge, Frequenz, Amplitude und Phase. • geben den Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz an.	• verwenden Zeigerketten oder Sinuskurven zur grafischen Darstellung. • wenden die zugehörige Gleichung an.	• verwenden Zeigerketten oder Sinuskurven zur grafischen Darstellung. • begründen diesen Zusammenhang mithilfe der Zeigerdarstellung oder der Sinusfunktion. • wenden die zugehörige Gleichung an.

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• vergleichen longitudinale und transversale Wellen. • nur eA: beschreiben Polarisierbarkeit als Eigenschaft transversaler Wellen.		• untersuchen experimentell die Winkelabhängigkeit der Intensität des durchgehenden Lichts bei einem Paar von Polarisationsfiltern. • interpretieren in diesem Zusammenhang das Quadrat der Zeigerlänge bzw. das Quadrat der Amplitude der zugehörigen Sinuskurve als Intensität. • stellen Bezüge zwischen dieser Kenntnis und Beobachtungen an einem LC-Display dar.
• beschreiben und deuten Interferenzphänomene für folgende „Zwei-Wege-Situationen“: ○ nur eA: stehende Welle, ○ Michelson-Interferometer, ○ Doppelspalt. • nur eA: deuten die Schwebung als Überlagerung zweier Wellen unterschiedlicher Frequenz an einem Detektor. • nur eA: beschreiben und deuten Interferenz bei der Bragg-Reflexion.	• verwenden die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung zur Beschreibung und Deutung der aus dem Unterricht bekannten Situationen. • erläutern die technische Verwendung des Michelson-Interferometers zum Nachweis kleiner Längenänderungen.	• verwenden die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung zur Beschreibung und Deutung. • erläutern die technische Verwendung des Michelson-Interferometers zum Nachweis kleiner Längenänderungen. • erläutern die Veränderung des Interferenzmusters beim Übergang vom Doppelspalt zum Gitter.
• nur eA: erläutern ein Experiment zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit in Luft.		• wenden ihre Kenntnisse über Interferenz auf die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit in einem Medium an.

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• beschreiben je ein Experiment zur Bestimmung der Wellenlänge von ○ nur eA: Ultraschall bei stehenden Wellen ○ Schall mit zwei Sendern, ○ Mikrowellen mit dem Michelson-Interferometer, ○ weißem und monochromatischem Licht mit einem Gitter (objektiv / nur eA: subjektiv), ○ nur eA: Röntgenstrahlung mit Bragg-Reflexion.	• werten entsprechende Experimente angeleitet aus. • leiten die Gleichung für die Interferenz am Doppelspalt vorstrukturiert und begründet her. • beschreiben die Funktion der zugehörigen optischen Bauteile auf der Grundlage einer vorgegebenen Skizze.	• werten entsprechende Experimente aus. • leiten die zugehörigen Gleichungen selbstständig und begründet her. • wenden das Vorgehen auf Experimente mit anderen Wellenarten an. • beschreiben die Funktion der zugehörigen optischen Bauteile. • wenden ihre Kenntnisse zur Bestimmung des Spurabstandes bei einer CD/DVD an. • erläutern ein Verfahren zur Strukturuntersuchung als technische Anwendung der Bragg-Reflexion.

Quantenobjekte

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• beschreiben das Experiment mit der Elektronenbeugungsröhre. • ermitteln die Wellenlänge bei Quantenobjekten mit Ruhemasse mithilfe der de-Broglie-Gleichung. • nur eA: nennen in diesem Zusammenhang die Definition des Impulses.	• deuten die Beobachtungen mithilfe optischer Analogieversuche an Transmissionsgittern. • bestätigen durch angeleitete Auswertung von Messwerten die Antiproportionalität zwischen Wellenlänge und Geschwindigkeit.	• deuten die Beobachtungen mithilfe optischer Analogieversuche an Transmissionsgittern oder mithilfe der Braggreflexion. • bestätigen durch Auswertung von Messwerten die Antiproportionalität zwischen Wellenlänge und Geschwindigkeit.
• deuten die jeweiligen Interferenzmuster bei Doppelspaltexperimenten für einzelne Photonen bzw. Elektronen stochastisch. • nur eA: beschreiben die wesentliche Aussage der Unbestimmtheitsrelation für Ort und Impuls.	• beschreiben die entstehenden Interferenzmuster bei geringer und hoher Intensität.	• beschreiben die entstehenden Interferenzmuster bei geringer und hoher Intensität. • verwenden zur Deutung der Interferenzmuster die Zeigerdarstellung oder eine andere geeignete Darstellung. • beschreiben den Zusammenhang zwischen der Nachweiswahrscheinlichkeit für ein einzelnes Quantenobjekt und dem Quadrat der resultierenden Zeigerlänge bzw. der Amplitude der resultierenden Sinuskurve. • wenden ihre Kenntnisse auf die Deutung von Experimenten mit Quantenobjekten größerer Masse (z. B. kalte Neutronen) an. • erläutern an einem Mehrfachspaltexperiment die Unbestimmtheitsrelation für Ort und Impuls.

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• nur eA: beschreiben den Aufbau eines Mach-Zehnder-Interferometers. • nur eA: interpretieren ein „Welcher-Weg“-Experiment unter den Gesichtspunkten Nichtlokalität und Komplementarität.		• erläutern die Begriffe <i>Komplementarität</i> und <i>Nicht-lokalität</i> mithilfe der Beobachtungen in einem „Welcher-Weg“-Experiment.
• erläutern die experimentelle Bestimmung der planckschen Konstante h mit LEDs in ihrer Funktion als Energiewandler.	• deuten das zugehörige Experiment mithilfe des Photonenmodells. • überprüfen durch angeleitete Auswertung von Messwerten die Hypothese der Proportionalität zwischen Energie des Photons und der Frequenz.	• deuten das zugehörige Experiment mithilfe des Photonenmodells. • überprüfen durch Auswertung von Messwerten die Hypothese der Proportionalität zwischen Energie des Photons und der Frequenz.
• nur eA: beschreiben ein Experiment zur Bestimmung der Energie der Photoelektronen beim äußeren lichtelektrischen Effekt mit der Vakuum-Fotозelle. • nur eA: erläutern die Entstehung des Röntgenbremsspektrums als Energieübertragung von Elektronen auf Photonen.	•	• wenden ihre Kenntnisse über das Photonenmodell des Lichtes auf diese Situation an. • deuten das zugehörige f-E-Diagramm. • ermitteln aus Röntgenbremsspektren einen Wert für die plancksche Konstante h.

Atomhülle

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• erläutern die Quantisierung der Gesamtenergie von Elektronen in der Atomhülle. • nennen die Gleichung für die Gesamtenergie eines Elektrons in diesem Modell.	• wenden dazu das Modell vom eindimensionalen Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden an. • beschreiben die Aussagekraft und die Grenzen dieses Modells.	• wenden dazu das Modell vom eindimensionalen Potenzialtopf mit unendlich hohen Wänden an. • leiten die Gleichung für die Gesamtenergie eines Elektrons in diesem Modell her. • beschreiben die Aussagekraft und die Grenzen dieses Modells.
• erläutern quantenhafte Emission anhand von Experimenten zu Linienspektren bei Licht ... nur eA: ... und Röntgenstrahlung. • erläutern einen Franck-Hertz-Versuch. • erläutern einen Versuch zur Resonanzabsorption.	• erklären diese Beobachtungen durch die Annahme diskreter Energieniveaus in der Atomhülle. • beschreiben Wellenlängen-Intensitäts-Spektren von Licht. • ermitteln eine Anregungsenergie anhand einer Franck-Hertz-Kennlinie.	• erklären diese Beobachtungen durch die Annahme diskreter Energieniveaus in der Atomhülle. • beschreiben Wellenlängen-Intensitäts-Spektren von Licht. • ermitteln eine Anregungsenergie anhand einer Franck-Hertz-Kennlinie.
• erklären den Zusammenhang zwischen Spektrallinien und Energieniveauschemata. • beschreiben die Vorgänge der Fluoreszenz an einem einfachen Energieniveauschema.	• benutzen vorgelegte Energieniveauschemata zur Berechnung der Wellenlänge von Spektrallinien und ordnen gemessenen Wellenlängen Energieübergänge zu. • erläutern und bewerten die Bedeutung der Fluoreszenz in Leuchtstoffen an den Beispielen Leuchtstoffröhre und „weiße“ LED.	• benutzen vorgelegte Energieniveauschemata zur Berechnung der Wellenlänge von Spektrallinien und ordnen gemessenen Wellenlängen Energieübergänge zu. • erklären ein charakteristisches Röntgenspektrum auf der Grundlage dieser Kenntnisse. • wenden die Balmerformel an. • erläutern und bewerten die Bedeutung der Fluoreszenz in Leuchtstoffen an den Beispielen Leuchtstoffröhre und „weiße“ LED.
• nur eA: erläutern die Grundlagen der Funktionsweise eines He-Ne-Lasers.		• stellen diese unter Verwendung vorgegebener Darstellungen strukturiert und angemessen dar. • beschreiben eine technische Anwendung, die auf der Nutzung eines Lasersystems beruht.

Atomkern

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• erläutern das grundlegende Funktionsprinzip eines Geiger-Müller-Zählrohrs als Messgerät für Zählraten. • erläutern das Zerfallsgesetz.	• stellen Zerfallsvorgänge grafisch dar und werten sie unter Verwendung der Eigenschaften einer Exponentialfunktion aus. • erläutern das Prinzip des C-14-Verfahrens zur Altersbestimmung.	• stellen Zerfallsvorgänge grafisch dar und werten sie unter Verwendung der Eigenschaften einer Exponentialfunktion zur Basis e aus. • übertragen dieses Vorgehen auf andere Abklingvorgänge. • beurteilen Gültigkeitsgrenzen der mathematischen Beschreibung aufgrund der stochastischen Natur der Strahlung. • erläutern das Prinzip des C-14-Verfahrens zur Altersbestimmung. • modellieren einen radioaktiven Zerfall mit dem Differenzenverfahren unter Einsatz einer Tabellenkalkulation oder eines Modellbildungssystems. • wenden dieses Verfahren auf einen Mutter-Tochter-Zerfall an.
• stellen Zerfallsreihen anhand einer Nuklidkarte auf.	• ermitteln aus einer Nuklidkarte die kennzeichnenden Größen eines Nuklids und die von ihm emittierte Strahlungsart. • beschreiben grundlegende Eigenschaften von α-, β- und γ-Strahlung.	• ermitteln aus einer Nuklidkarte die kennzeichnenden Größen eines Nuklids und die von ihm emittierte Strahlungsart. • beschreiben grundlegende Eigenschaften von α-, β- und γ-Strahlung.

Inhaltsbezogene Kompetenzen	Prozessbezogene Kompetenzen für ...	
	Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau	Kurse auf erhöhtem Anforderungsniveau
Die Schülerinnen und Schüler ...		
• erläutern das grundlegende Funktionsprinzip eines Halbleiterdetektors für die Energiemessung von Kernstrahlung. • interpretieren ein α-Spektrum auf der Basis der zugehörigen Zerfallsreihe.	• beschreiben die in Energiespektren verwendete Darstellungsform (Energie-Häufigkeits-Diagramm). • wenden in diesem Zusammenhang die Nuklidkarte an.	• beschreiben die in Energiespektren verwendete Darstellungsform (Energie-Häufigkeits-Diagramm). • wenden in diesem Zusammenhang die Nuklidkarte an. • erläutern die Bedeutung der Bragg-Kurve in der Strahlentherapie.
• nur eA: beschreiben die Quantisierung der Gesamtenergie von Nukleonen im eindimensionalen Potenzialtopf.		• schätzen die Größenordnung der Energie bei Kernprozessen mithilfe des Potenzialtopfmodells ab.

4 Leistungsfeststellung und Leistungsbewertung

Leistungen im Unterricht werden in innerfachlichen und auch anderen Kompetenzbereichen festgestellt und berücksichtigt. 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 den Schülerinnen und Schülern 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 Schülerinnen und Schülern 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 Schülerinnen und Schüler zum Weiterlernen zu ermutigen.

In Leistungs- und Überprüfungssituationen ist es das Ziel, die Verfügbarkeit der erwarteten Kompetenzen nachzuweisen. Leistungsfeststellungen und Leistungsbewertungen geben den Schülerinnen und Schülern Rückmeldungen über die erworbenen Kompetenzen und den Lehrkräften Orientierung für notwendige Maßnahmen zur individuellen Förderung. Neben der kontinuierlichen Beobachtung der Schülerinnen und Schüler 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 *„Wiedergeben und beschreiben“*, *„Anwenden und strukturieren“* sowie *„Transferieren und verknüpfen“* 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 die Fachkonferenz auf der Grundlage der Vorgaben des Erlasses *„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 Thesenpapiers, 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 finden neben methodisch-strategischen auch sozial-kommunikative Leistungen Berücksichtigung.

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

5 Aufgaben der Fachkonferenz

Die Fachkonferenz erarbeitet unter Beachtung der rechtlichen Grundlagen und der fachbezogenen Vorgaben des Kerncurriculums einen schuleigenen Arbeitsplan. Mit der regelmäßigen Überprüfung und Weiterentwicklung des schuleigenen Arbeitsplans trägt die Fachkonferenz zur Qualitätsentwicklung des Faches und zur Qualitätssicherung bei.

Die Fachkonferenz ...

- 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 des schuleigenen Arbeitsplans 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 der abgehenden 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 Berufsorientierung und Berufsbildung und greift das Konzept im Fachcurriculum 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 den Fortbildungsbedarf innerhalb der Fachgruppe, 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 Handlungs-
verben diejenigen Tätigkeiten, die bei der Bearbeitung von Aufgaben ausgeführt werden sollen.

Operatoren werden erst durch die Formulierung und Gestaltung der Aufgabenstellung und durch den
Bezug zu den Materialien konkretisiert. Aufgrund dieser vielfältigen wechselseitigen Abhängigkeiten
lassen sich Operatoren zumeist nicht präzise einzelnen Anforderungsbereichen zuschreiben.

Die Operatoren sind alphabetisch geordnet. Sie gelten übergreifend für die Naturwissenschaften.

Operator	Beschreibung der erwarteten Leistung
abschätzen	durch begründetes Überlegen Näherungswerte angeben
analysieren	wichtige Bestandteile oder Eigenschaften auf eine bestimmte Fragestellung hin herausarbeiten
anwenden	einen bekannten Sachverhalt oder eine bekannte Methode auf etwas Neues beziehen
aufbauen eines Experiments	Objekte und Geräte zielgerichtet anordnen und kombinieren
aufstellen einer Hypothese	eine begründete Vermutung auf der Grundlage von Beobachtungen, Untersuchungen, Experimenten oder Aussagen formulieren
aufstellen einer Reaktionsgleichung	vorgegebene chemische Informationen in eine Reaktionsgleichung übersetzen
auswerten	Daten, Einzelergebnisse oder andere Elemente in einen Zusammenhang stellen und ggf. zu einer Gesamtaussage zusammenführen
begründen	Sachverhalte auf Regeln und Gesetzmäßigkeiten bzw. kausale Beziehungen von Ursachen und Wirkung zurückführen
berechnen	numerische Ergebnisse von einem Ansatz ausgehend gewinnen
beschreiben	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge strukturiert und fachsprachlich richtig mit eigenen Worten wiedergeben
bestätigen	die Gültigkeit einer Aussage (z. B. einer Hypothese, einer Modellvorstellung, eines Naturgesetzes) zu einem Experiment, zu vorliegenden Daten oder zu Schlussfolgerungen feststellen
beurteilen/Stellung nehmen	zu einem Sachverhalt ein selbstständiges Urteil unter Verwendung von Fachwissen und Fachmethoden formulieren und begründen

Operator	Beschreibung der erwarteten Leistung
bewerten	einen Gegenstand an erkennbaren Wertkategorien oder an bekannten Beurteilungskriterien messen
darstellen	Sachverhalte, Zusammenhänge, Methoden etc. strukturiert und ggf. fachsprachlich wiedergeben
deuten	Sachverhalte in einen Erklärungszusammenhang bringen
diskutieren/erörtern	Argumente, Sachverhalte und Beispiele zu einer Aussage oder These einander gegenüberstellen und abwägen
dokumentieren	den Lösungsweg nachvollziehbar darstellen – auch bei Verwendung eines elektronischen Rechenwerkzeugs
durchführen eines Experiments	mithilfe vorgegebener Anordnungen sachgerecht Messdaten gewinnen oder Beobachtungen machen
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 zum Ausdruck bringen mit Bezug auf Regeln, Gesetzmäßigkeiten und Ursachen
erläutern	einen Sachverhalt durch zusätzliche Informationen veranschaulichen und verständlich machen
ermitteln	einen Zusammenhang oder eine Lösung finden und das Ergebnis formulieren
herleiten	aus Größengleichungen durch mathematische Operationen begründet eine Bestimmungsgleichung einer naturwissenschaftliche Größe erstellen
nennen	Elemente, Sachverhalte, Begriffe, Daten ohne Erläuterungen angeben
ordnen	vorliegende Objekte oder Sachverhalte in Kategorien einordnen
planen eines Experiments	zu einem vorgegebenen Problem eine Experimentieranordnung finden oder zu einem vorgegebenen Problem eine Experimentieranleitung erstellen
protokollieren	Beobachtungen oder die Durchführung von Experimenten zeichnerisch bzw. fachsprachlich richtig wiedergeben
skizzieren	Sachverhalte, Strukturen oder Ergebnisse auf das Wesentliche reduziert grafisch übersichtlich darstellen
überprüfen/prüfen	Sachverhalte oder Aussagen an Fakten oder innerer Logik messen und eventuelle Widersprüche aufdecken
verallgemeinern	aus einem erkannten Sachverhalt eine erweiterte Aussage formulieren
vergleichen	Gemeinsamkeiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede feststellen
zeichnen	eine anschauliche und hinreichend exakte grafische Darstellung beobachtbarer oder gegebener Strukturen anfertigen
zusammenfassen	das Wesentliche in konzentrierter Form herausstellen

A 2 Beispiel für die Aufgabenstellung in einer Leistungsaufgabe

Am folgenden Beispiel soll deutlich werden, wie sich die Aufgabenstellungen in der Qualifikationsphase für Kurse auf grundlegendem Anforderungsniveau von denen auf erhöhtem Anforderungsniveau unterscheiden können.

Beiden Kursarten gemeinsam ist die Forderung, Interferenzphänomene beschreiben und deuten zu können und die Wellenlänge von Licht mit einem Gitter zu bestimmen. Um mögliche Überschneidungen mit künftigen Abituraufgaben zu vermeiden, wird für diese Darstellung das Interferenzexperiment nach Lloyd ausgewählt, das nicht zum Pflichtstoff gehört. Außerdem wird davon ausgegangen, dass der vorangehende Unterricht die Zeigerdarstellung benutzt hat.

Alle Schülerinnen und Schüler müssen darauf vorbereitet werden, bei der Auswertung von Diagrammen den Maßstab zu berücksichtigen, weil z. B. Verzerrungen beim Vervielfältigen der Aufgaben unvermeidbar sind.

Aufgabe für einen Kurs auf grundlegendem Anforderungsniveau

Wenn man einen Spiegel mit dem Licht aus einem grün strahlenden Laser entsprechend Abb.1 beleuchtet, entsteht auf einem entfernt stehenden Schirm ein Muster aus Streifen wie in Abb. 2.

1. Deuten Sie die Beobachtung in Abb. 2 zunächst qualitativ unter Verwendung der Zeigerdarstellung.
2. Mit einer Mikrowellen-Apparatur wird der Versuch nach Abb. 1 durchgeführt.

Mit dem Empfänger erhält man die am rechten Bildrand dargestellte Intensitätsverteilung, wenn man den Empfänger entlang des Schirms verschiebt.

- 2.1 Erläutern Sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen beiden Versuchen.

Überprüfen Sie anhand der Abb. 1, ob die benutzte Mikrowellenstrahlung die Wellenlänge $\lambda = 2,8 \text{ cm}$ besitzen könnte. Erläutern Sie Ihr Vorgehen.

Hinweis: Der Abbildungsmaßstab ergibt sich aus der Beschriftung der Achsen, die in cm vorgenommen wurde.

Aufgabe für einen Kurs auf erhöhtem Anforderungsniveau

Mit einer Mikrowellen-Apparatur wird der Versuch nach Abb. 1 durchgeführt.

Mit einem Empfänger erhält man die am rechten Bildrand dargestellte Intensitätsverteilung, wenn man den Empfänger entlang des Schirms verschiebt.

1. Deuten Sie die Beobachtung zunächst qualitativ unter Verwendung einer übersichtlichen Skizze.

2. Ermitteln Sie die Wellenlänge der benutzten Mikrowellenstrahlung und erläutern Sie Ihr Vorgehen. Leiten Sie eine dazu geeignete Gleichung her. Schätzen Sie die Genauigkeit des von Ihnen ermittelten Wertes begründet ab.

Hinweis: Der Abbildungsmaßstab ergibt sich aus der Beschriftung der Achsen, die in cm vorgenommen wurde.

3. Beschreiben Sie ein weiteres aus dem Unterricht bekanntes Verfahren zur Bestimmung der Wellenlänge von Licht, das auf Reflexion beruht.

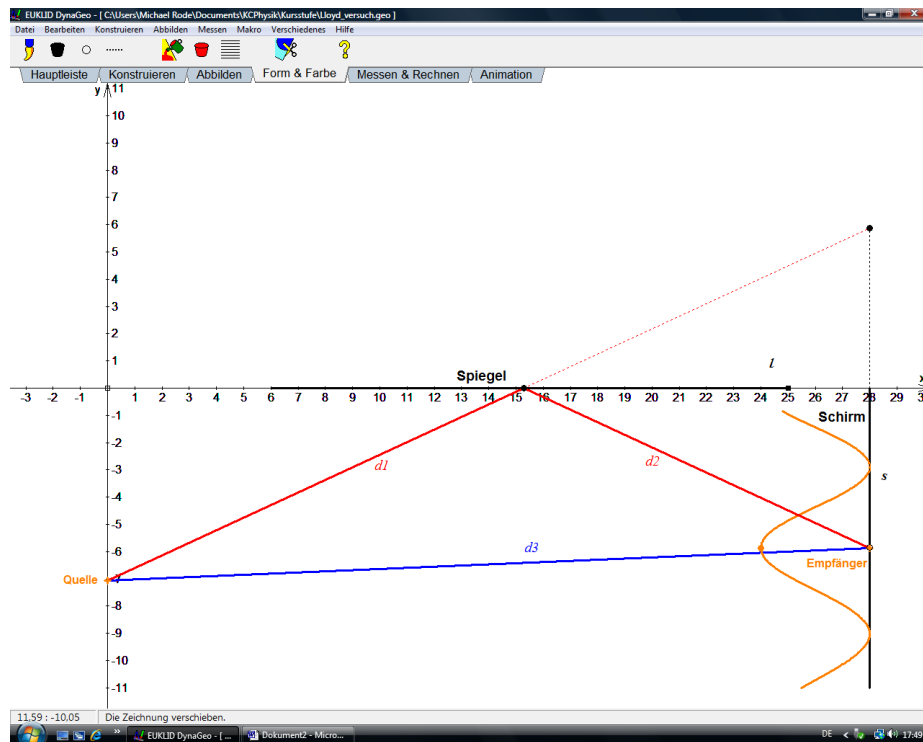


Abb. 1: Aufbau eines Versuches mit Mikrowellen. Am rechten Rand sieht man die gemessene Intensität, dargestellt über dem Ort des Empfängers. Beide Achsen sind in cm geteilt.

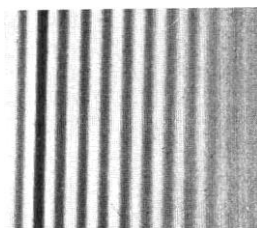


Abb. 2: Beobachtung auf einem Schirm in großer Entfernung vom Spiegel in Originalgröße.

A 3 Beispiel für die Dokumentation eines Lösungsweges bei Verwendung eines elektronischen Rechenwerkzeugs

An der folgenden Aufgabe soll 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:

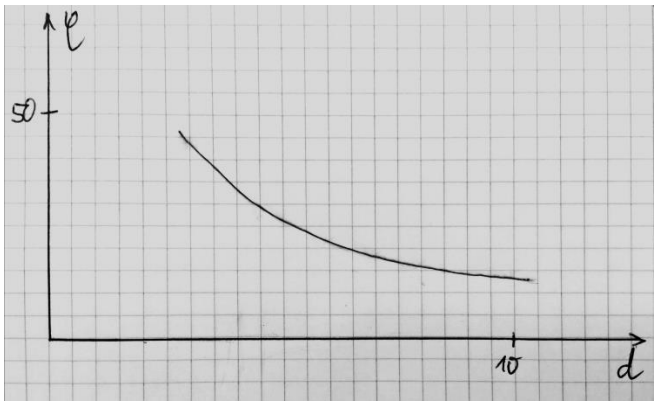
- Qualitative Beschreibung der Abhängigkeit der Messgrößen,
- Begründete Vermutung über die Art des funktionalen Zusammenhangs,
- Bestimmung des funktionalen Zusammenhangs (z.B. Regression, Produktbildung, ...),
- Formulierung eines Ergebnisses in physikalischen Größen und Einheiten.

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
Es ist erkennbar, dass die Kapazität C mit zunehmendem Plattenabstand d sinkt. Da sich die Kapazität bei einer ungefähren Verdopplung des Plattenabstands in etwa halbiert, gehe ich von einem antiproportionalen Zusammenhang aus. Diesen überprüfe ich durch eine Potenzregression. Da der Exponent $b \approx -1$ ist, ist meine Vermutung sinnvoll. Die erhaltene Gleichung übersetzt in physikalische Symbole lautet: $C \approx 1,34 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot \text{mm} \cdot d^{-1}$ oder	 Hinweis: Zur Dokumentation reicht eine Skizze der Displayanzeige wie im obigen Beispiel aus. $y = a \cdot x^b$

$C \approx 1,34 \cdot 10^{-13} \text{ F} \cdot \text{m} \cdot \frac{1}{d}$	$a = 133,61$ $b = -1,0083$
--	-------------------------------

Beispiel 2: Produktgleichheit

Dokumentation des Vorgehens	Display-Dokumentation								
Es ist erkennbar, dass die Kapazität C mit zunehmendem Plattenabstand d sinkt. Da sich die Kapazität bei einer ungefähren Verdopplung des Plattenabstands in etwa halbiert, gehe ich von einem antiproportionalen Zusammenhang aus. Diesen überprüfe ich durch Berechnung des Produkts $d \cdot C$. Da dieses Produkt in guter Näherung konstant ist, ist meine Annahme sinnvoll. Die erhaltene Gleichung übersetzt in physikalische Symbole: $C \approx 1,32 \cdot 10^{-10} \text{ F} \cdot \text{mm} \cdot \frac{1}{d}$ oder $C \approx 1,32 \cdot 10^{-13} \text{ F} \cdot \text{m} \cdot \frac{1}{d}$	Produktbildung: <table><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></td></tr></table> Mittelwert der Produkte: 131,6388	132,9	131,2	131,56	131,76	131,1	133,21	131,04	
132,9	131,2	131,56	131,76						
131,1	133,21	131,04							

A 4 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 werden folgende Faustregeln vorgeschlagen.

Für beide Kursarten:

Im Material 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.

Nur eA:

- Die relative Messunsicherheit eines zusammengesetzten Ergebnisses kann niemals kleiner sein als die größte relative Messunsicherheit aller Eingangsgrößen.
- Auf dieser Grundlage berechnete absolute Unsicherheiten werden stets mit zwei signifikanten Stellen angegeben.

Beispiel 1: Experimentelle Wellenlängenbestimmung am Gitter

Sachlage	gA	eA
<u>Angegebene Werte:</u> $d = \frac{1}{500} \text{ mm} = 2,00 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ <u>Gemessene Werte:</u> $l = 300 \text{ mm}$ $s = 70 \text{ mm}$ daraus berechnet $\lambda = 454,459 \text{ nm}$		Die drei absoluten Messunsicherheiten werden aufgrund des Experiments ($\Delta l = \Delta s = \pm 1 \text{ mm}$) und der Herstellerangaben ($\Delta d = \pm 0,005 \cdot 10^{-6} \text{ m}$) abgeschätzt und die relativen Werte daraus berechnet. Als Ergebnis wird klar, dass die Messung von s den größten Beitrag liefert: $\frac{\Delta s}{s} \approx \frac{1 \text{ mm}}{70 \text{ mm}} \approx 1,43\%$

	Die Länge s ist mit zwei signifikanten Stellen angegeben. Daher soll man das hieraus erhaltene Ergebnis mit drei signifikanten Ziffern angeben: $\lambda \approx 454 \text{ nm}$.	Die Länge s ist mit zwei signifikanten Stellen angegeben. Daher soll man das hieraus erhaltene Ergebnis mit drei signifikanten Ziffern angeben: $\lambda \approx 454 \text{ nm}$. Die relative Messunsicherheit der zu berechnenden Wellenlänge kann gemäß dem obigen Ergebnis nicht kleiner als 1,4% sein. Daher lautet das sachgerecht abgeschätzte Ergebnis $\lambda \approx 454 \text{ nm} \pm 1,4\%$. Normgerecht wäre auch $\lambda \approx 454 \text{ nm} \pm 6,5 \text{ nm}$.
--	--	--

Beispiel 2: Rechenaufgabe zur Stromwaage

Sachlage	gA	eA
Angegebene Werte: Kraft $F = 17,1 \text{ mN}$ Stromstärke $I = 5,64 \text{ A}$ Leiterlänge $s = 4,0 \text{ cm}$ daraus berechnet $B = \frac{F}{I \cdot s}$ $= \frac{17,1 \text{ mN}}{5,64 \text{ A} \cdot 4,0 \text{ cm}}$ $= 0,07579 \dots \text{ T}$		Die drei absoluten Messunsicherheiten werden aufgrund der Zahlenangaben in der Aufgabe abgeschätzt und die relativen daraus berechnet. Als Ergebnis wird klar, dass die Messung von s den größten Beitrag liefert: $\frac{\Delta s}{s} = \frac{0,5 \text{ mm}}{4,0 \text{ cm}} = 1,25\%$
	Die Leiterlänge s ist mit <u>zwei</u> signifikanten Stellen angegeben. Daher soll man das hieraus erhaltene Ergebnis mit <u>drei</u> signifikanten Ziffern angeben: $B \approx 75,8 \text{ mT}$.	Die Länge s ist mit <u>zwei</u> signifikanten Stellen angegeben. Daher soll man das hieraus erhaltene Ergebnis mit <u>drei</u> signifikanten Ziffern angeben: $B \approx 75,8 \text{ mT}$. Die relative Messunsicherheit der zu berechnenden Feldstärke gemäß dem obigen Ergebnis nicht kleiner als 1,25% sein. Daher lautet das sachgerecht abgeschätzte Ergebnis $B \approx 75,8 \text{ mT} \pm 1,25\%$. Normgerecht wäre auch $B \approx 75,8 \text{ mT} \pm 0,95 \text{ mT}$.

Hinweis: Wäre die Leiterlänge im Material mit $s = 4 \text{ cm}$ angegeben, hätte das zur Folge, dass das Ergebnis $B \approx 76 \text{ mT} \pm 9,5 \text{ mT}$ lauten würde.