

Themenfeld 3: Quantenphysik und Materie – Thema 3.1. Quantenobjekte				
Thema	Leitfragen / Zentrale Unterrichtssituationen	Inhalte Die Su*S können ... <sup>1</sup>	Kompetenzen & Leitperspektiven Die Su*S <sup>2</sup>	Experimente & Materialhinweise & Sprachbildung Schulspezifische Absprachen
<b>Quantenobjekte:</b>  gA: 4 DStd. eA: 6 DStd.	<b>Photonen:</b> <b>Der Photoeffekt: Licht löst Elektronen aus Metalloberflächen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Erarbeitung des Lichtelektrischen Effekts (Hallwachs-Effekt, Photozelle) und seine Erklärung im Photonen-Modell der Quantenphysik (Einsteinsche Lichtquantenhypothese),                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Beim Photoeffekt treffen Photonen auf eine Metalloberfläche. Wenn ein Photon auf ein Elektron trifft, wird das Photon absorbiert. Die Energie des Photons wird auf das Elektron übertragen; mit der gewonnenen Energie kann das Elektron das Metall verlassen, es gilt:                                     <ul style="list-style-type: none"> <li><math>E = h \cdot f</math></li> </ul> </li> <li>Für austretende Elektronen aus der Metalloberfläche gilt:                                     <ul style="list-style-type: none"> <li><math>E_{kin,max} = h \cdot f - W_A</math>, wobei <math>W_A</math> die Austrittsarbeit ist, die benötigt wird um das Elektron aus dem Metall zu lösen.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <b>Impuls von Photonen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Photonen besitzen einen Impuls, den sie auf Materieteilchen übertragen können. Das zeigt sich z.B. beim Staubschweif von Kometen, der immer von der Sonne weggerichtet ist.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Der Impuls ist mit der Strahlungsenergie <math>E</math> über <math>p = \frac{E}{c}</math> verknüpft</li> <li>Mit der bekannten Energie des Photons ergibt sich                                     <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Ein Photon der Frequenz <math>f</math> besitzt eine Energie <math>E = h \cdot f</math> und einen Impuls <math>p = \frac{h \cdot f}{c}</math></b></li> <li><math>\lambda = \frac{h}{p}</math> (Beziehung von de Broglie)</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Zusammenhänge der Größen Energie, Impuls, Frequenz und Wellenlänge zur Beschreibung von Quantenobjekten erklären                             <ul style="list-style-type: none"> <li>den Zusammenhang zwischen Energie und Frequenz eines Photons quantitativ beschreiben und anwenden</li> <li>einen Näherungswert für das Planck'sche Wirkungsquantum <math>h</math> mit einer experimentellen Methode bestimmen</li> <li>den Zusammenhang zwischen Impuls und Wellenlänge (de Broglie-Beziehung) anwenden und erläutern</li> </ul> </li> </ul>	Sachkompetenz(en): <input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3 <input type="checkbox"/> S4 <input type="checkbox"/> S5 <input type="checkbox"/> S6 <input type="checkbox"/> S7  Erkenntnisgewinnungskompetenz(en): <input type="checkbox"/> E1 <input type="checkbox"/> E2 <input type="checkbox"/> E3 <input type="checkbox"/> E4 <input type="checkbox"/> E5 <input type="checkbox"/> E6 <input type="checkbox"/> E7 <input type="checkbox"/> E8 <input type="checkbox"/> E9 <input type="checkbox"/> E10 <input type="checkbox"/> E11  Kommunikationskompetenz(en): <input type="checkbox"/> K1 <input type="checkbox"/> K2 <input type="checkbox"/> K3 <input type="checkbox"/> K4 <input type="checkbox"/> K5 <input type="checkbox"/> K6 <input type="checkbox"/> K7 <input type="checkbox"/> K8 <input type="checkbox"/> K9 <input type="checkbox"/> K10  Bewertungskompetenz(en): <input type="checkbox"/> B1 <input type="checkbox"/> B2 <input type="checkbox"/> B3 <input type="checkbox"/> B4 <input type="checkbox"/> B5 <input type="checkbox"/> B6 <input type="checkbox"/> B7 <input type="checkbox"/> B8  Leitperspektive(n): D BNE W	<b>Experimente, Simulationen, Videos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Versuch von Hallwachs mit dem <a href="#">Elektroskop</a></li> <li><a href="#">Video</a> zum Photoeffekt</li> <li><a href="#">Versuch</a> zur <math>h</math>-Bestimmung mit der Gegenfeldmethode</li> <li><math>h</math>-Bestimmung mit einer Simulation (<a href="#">Simulation1</a>; <a href="#">Phetsimulation</a>) zur Gegenfeldmethode</li> <li>Interaktives Bildschirmexperimente (IBE) zu <a href="#">Quantenobjekten</a></li> <li><a href="#">Video</a> zur <math>h</math>-Bestimmung mit LEDs</li> </ul>
<b>Präparation</b>  gA: 1 DStd. eA: 1 DStd.	<b>Präparation dynamischer Eigenschaften</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ein Verfahren, mit dem Objekte in einen bestimmten Zustand gebracht werden, nennt man <b>Präparation</b>. Beim horizontalen Wurf können z.B. der Abschussort und die Abschussgeschwindigkeit präpariert werden. Diese können verändert werden, deshalb werden sie als <b>dynamische Eigenschaften</b> bezeichnet. Im Gegensatz dazu sind z.B. Ladung und Ruhemasse des Elektrons unveränderlich.</li> <li>Mit der Präparation werden Objekte mit gleichen Anfangsbedingungen hergestellt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Den Zusammenhang zwischen den Begriffen Präparation, Test und Eigenschaften eines Objekts beschreiben</li> </ul>	Sachkompetenz(en): <input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3 <input type="checkbox"/> S4 <input type="checkbox"/> S5 <input type="checkbox"/> S6 <input type="checkbox"/> S7  Erkenntnisgewinnungskompetenz(en): <input type="checkbox"/> E1 <input type="checkbox"/> E2 <input type="checkbox"/> E3 <input type="checkbox"/> E4 <input type="checkbox"/> E5 <input type="checkbox"/> E6 <input type="checkbox"/> E7 <input type="checkbox"/> E8 <input type="checkbox"/> E9 <input type="checkbox"/> E10 <input type="checkbox"/> E11	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wichtig ist zu erörtern, dass man Quantenobjekten im Allgemeinen Eigenschaften wie Ort und Impuls <b>nicht</b> zuschreiben kann.</li> <li>In der klassischen Physik spielt die Präparation eine wichtige, aber meist unbeachtete Rolle. In der Quantenphysik tauchen Eigenschaften auf, die es nötig machen, den Begriff der dynamischen Eigenschaft neu zu überdenken.</li> <li><a href="#">Prismenversuch</a> mit Licht</li> <li>In der Quantenphysik muss beachtet werden, dass es Fälle gibt, in denen man in einen Widerspruch zu den Phänomenen gerät, wenn man Quantenobjekten eine Eigenschaft unabhängig von der Vorschrift Präparation und Test/Messung zuschreibt.</li> </ul>

<sup>1</sup> Inhalte im Fach Physik aus dem A-Heft Abitur 2023 und Bildungsplan Physik Studienstufe

<sup>2</sup> Kompetenzen laut Bildungsplan Physik Studienstufe

**Themenfeld 3: Quantenphysik und Materie – Thema 3.1. Quantenobjekte**

Thema	Leitfragen / Zentrale Unterrichtssituationen	Inhalte Die Su*S können ... <sup>1</sup>	Kompetenzen & Leitperspektiven Die Su*S <sup>2</sup>	Experimente & Materialhinweise & Sprachbildung Schulspezifische Absprachen
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Um festzustellen, ob eine Präparation stattgefunden hat, wird ein <b>Test</b> durchgeführt. Liefert der Test ein eindeutiges und zugleich vorhersagbares Ergebnis, dann sagt man, dass das Objekt die entsprechende <b>Eigenschaft</b> besitzt.</li> </ul>		<p>Kommunikationskompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> K1 <input type="checkbox"/> K2 <input type="checkbox"/> K3 <input type="checkbox"/> K4</p> <p><input type="checkbox"/> K5 <input type="checkbox"/> K6 <input type="checkbox"/> K7 <input type="checkbox"/> K8</p> <p><input type="checkbox"/> K9 <input type="checkbox"/> K10</p> <p>Bewertungskompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> B1 <input type="checkbox"/> B2 <input type="checkbox"/> B3 <input type="checkbox"/> B4</p> <p><input type="checkbox"/> B5 <input type="checkbox"/> B6 <input type="checkbox"/> B7 <input type="checkbox"/> B8</p> <p>Leitperspektive(n):</p> <p>D BNE W</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der halbdurchlässige Spiegel ist ein Beispiel dafür, dass eine Versuchsanordnung nicht immer eine dynamische Eigenschaft präpariert, auch wenn es zunächst den Anschein hat.</li> <li>Als weiteres Beispiel für eine Präparation wird die Polarisation betrachtet. Entweder als Realexperiment oder als <a href="#">Simulation</a></li> </ul>
<p><b>Mach-Zehnder-Interferometer</b></p> <p>gA: 4 DStd. eA: 8 DStd.</p>	<p><b>Welle und Teilchen-Dualismus</b></p> <p>Ein charakteristisches Merkmal für Wellenverhalten ist das Auftreten von Interferenz.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mit Hilfe des Experiments bzw. der Simulation zum Mach-Zehnder-Interferometer wird ein <b>Interferenzmuster</b> erzeugt. Also das Wellenverhalten von Licht demonstriert.</li> <li>Experiment mit einzelnen Photonen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Jedes Photon überträgt seine ganze Energie auf einen Detektorbaustein – typische Teilcheneigenschaft</li> <li>Das Muster, das sich aus den Einschlägen vieler einzelner Photonen aufbaut, entspricht dem Interferenzmuster einer Welle.</li> <li><b>Es ist nicht möglich, das physikalische Verhalten von Photonen in einem reinen Teilchen- oder Wellenmodell zu beschreiben. Eine befriedigende Erklärung muss Kennzeichen beider Modelle in sich vereinigen.</b></li> </ul> </li> </ul> <p><b>Kann man einem Photon einen Weg zuschreiben?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Experiment/Simulation mit Polarisationsfiltern: <ul style="list-style-type: none"> <li>Ist ein Polarisationsfilter waagrecht und einer senkrecht eingestellt, kann jedem Photon der zurückgelegte Weg zugeordnet werden. In diesem Fall bildet sich jedoch <b>kein</b> Interferenzmuster.</li> <li>Beim Experiment ohne Polarisationsfilter besitzen die Photonen die Eigenschaft „Weg“ nicht.</li> <li>In der Quantenmechanik ist es möglich, dass einem Quantenobjekt eine bestimmte Eigenschaft (z. B. „Weg A“ oder „Weg B“) nicht zugeschrieben werden</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Interferenz und Superposition mit Hilfe des Photons als Quantenobjekt beschreiben und interpretieren</li> <li>Die Komplementarität von Weginformationen und Interferenzfähigkeit erläutern</li> </ul>	<p>Sachkompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3 <input type="checkbox"/> S4</p> <p><input type="checkbox"/> S5 <input type="checkbox"/> S6 <input type="checkbox"/> S7</p> <p>Erkenntnisgewinnungskompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> E1 <input type="checkbox"/> E2 <input type="checkbox"/> E3 <input type="checkbox"/> E4</p> <p><input type="checkbox"/> E5 <input type="checkbox"/> E6 <input type="checkbox"/> E7 <input type="checkbox"/> E8</p> <p><input type="checkbox"/> E9 <input type="checkbox"/> E10 <input type="checkbox"/> E11</p> <p>Kommunikationskompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> K1 <input type="checkbox"/> K2 <input type="checkbox"/> K3 <input type="checkbox"/> K4</p> <p><input type="checkbox"/> K5 <input type="checkbox"/> K6 <input type="checkbox"/> K7 <input type="checkbox"/> K8</p> <p><input type="checkbox"/> K9 <input type="checkbox"/> K10</p> <p>Bewertungskompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> B1 <input type="checkbox"/> B2 <input type="checkbox"/> B3 <input type="checkbox"/> B4</p> <p><input type="checkbox"/> B5 <input type="checkbox"/> B6 <input type="checkbox"/> B7 <input type="checkbox"/> B8</p> <p>Leitperspektive(n):</p>	<p><b>Experimente, Simulationen, Videos</b></p> <p>Es wird das Verhalten von einzelnen Photonen in einem Interferometer untersucht. Das Licht zeigt dabei im selben Versuch Wellen- und Teilcheneigenschaften. Dies ist ein Beispiel für einen wesentlichen Aspekt der Quantenmechanik: den „Dualismus“ von Welle und Teilchen. Man erkennt, dass sich das Verhalten von Licht nicht in einem reinen Teilchen- oder einem reinen Wellenmodell erklären lässt.</p> <p>Ziel ist es, am Beispiel eines speziellen Experiments, einen ersten Einblick in dieses eigenartige Quantenverhalten zu gewinnen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Arbeitsblätter zum Interferometer von <a href="#">milq</a></li> <li>Simulationsprogramm zum <a href="#">Mach-Zehnder-Interferometer</a></li> </ul> <p>Beim Nachweis im Detektor regt jedes Photon nur einen einzelnen Detektorbaustein an. Ist das Photon innerhalb des Interferometers ähnlich gut lokalisiert (also teilchenhaft)?</p> <p>Zur Untersuchung bieten sich die weiteren Arbeitsblätter und Simulation von milq an. Dabei werden Polarisationsfilter in den Strahlengang geschoben, durch unterschiedliche Einstellungen der Polarisationsfilter (z.B. 0° und 90°) können die beiden Wege markiert werden, wodurch jedes Photon eine „Markierung“ trägt, durch welchen Polarisationsfilter es gegangen ist. Dadurch verschwindet das Interferenzbild auch ohne, dass die Polarisation der jeweiligen Photonen gemessen wird. Nur im Fall von ununterscheidbaren Wegen zeigt sich das Interferenzbild.</p>

**Themenfeld 3: Quantenphysik und Materie – Thema 3.1. Quantenobjekte**

Thema	Leitfragen / Zentrale Unterrichtssituationen	Inhalte Die Su*S können ... <sup>1</sup>	Kompetenzen & Leitperspektiven Die Su*S <sup>2</sup>	Experimente & Materialhinweise & Sprachbildung Schulspezifische Absprachen
	<p>kann.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Obwohl ein Quantenobjekt eine Eigenschaft (z. B. „Weg im Interferometer“) nicht besitzen muss, wird bei einer Messung dieser Eigenschaft immer ein bestimmter Wert gefunden (z. B. „Weg A“ oder „Weg B“).</li> </ul>		<p><b>D BNE W</b></p>	<p>Das Experiment gibt es ähnlich im Schullabor „<a href="#">Light and Schools</a>“</p> <p>Ergänzendes Video zur Quantenphysik „<a href="#">Das geheimnisvolle Reich der Quanten</a>“</p>
<p><b>Wahrscheinlichkeit</b></p> <p><i>gA: 1 DStd.</i> <i>eA: 1 DStd.</i></p>	<p><b>Kann man bei einem Quantenobjekt den Auftreffpunkt vorhersagen?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Doppelspaltexperiment mit Licht eines Lasers: <ul style="list-style-type: none"> <li>Das Interferenzmuster wird in der klassischen Physik damit erklärt, das von beiden Seiten Elementarwellen ausgehen und miteinander interferieren.</li> </ul> </li> <li>Doppelspaltexperiment mit einzelnen Photonen <ul style="list-style-type: none"> <li>Das Experiment wird in 2 Phasen unterteilt: <ul style="list-style-type: none"> <li>Präparation</li> <li>Messung</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>Die Unmöglichkeit einer detaillierten Vorhersage über Einzelergebnisse ist ein charakteristisches Merkmal für die Quantenmechanik.</li> <li>Es gibt keine zusätzlichen Parameter, an denen sich vorher ablesen ließe, wo ein bestimmtes Photon auf dem Schirm landet</li> </ul> <p><b>Die Quantenmechanik macht statistische Aussagen über die relative Häufigkeit der Ergebnisse bei oftmaliger Wiederholung des gleichen Experiments. Aussagen über Einzelergebnisse sind im Allgemeinen nicht möglich.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>die stochastische Vorhersagbarkeit und die Determiniertheit der Zufallsverteilung am Doppelspaltexperiment mit Licht erläutern und anwenden</li> <li>Und noch mehr....</li> </ul>	<p>Sachkompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> S1 <input type="checkbox"/> S2 <input type="checkbox"/> S3 <input type="checkbox"/> S4</p> <p><input type="checkbox"/> S5 <input type="checkbox"/> S6 <input type="checkbox"/> S7</p> <p>Erkenntnisgewinnungskompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> E1 <input type="checkbox"/> E2 <input type="checkbox"/> E3 <input type="checkbox"/> E4</p> <p><input type="checkbox"/> E5 <input type="checkbox"/> E6 <input type="checkbox"/> E7 <input type="checkbox"/> E8</p> <p><input type="checkbox"/> E9 <input type="checkbox"/> E10 <input type="checkbox"/> E11</p> <p>Kommunikationskompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> K1 <input type="checkbox"/> K2 <input type="checkbox"/> K3 <input type="checkbox"/> K4</p> <p><input type="checkbox"/> K5 <input type="checkbox"/> K6 <input type="checkbox"/> K7 <input type="checkbox"/> K8</p> <p><input type="checkbox"/> K9 <input type="checkbox"/> K10</p> <p>Bewertungskompetenz(en):</p> <p><input type="checkbox"/> B1 <input type="checkbox"/> B2 <input type="checkbox"/> B3 <input type="checkbox"/> B4</p> <p><input type="checkbox"/> B5 <input type="checkbox"/> B6 <input type="checkbox"/> B7 <input type="checkbox"/> B8</p> <p>Leitperspektive(n):</p> <p><b>D BNE W</b></p>	<p>In diesem Abschnitt wird ein Blick auf die Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Quantenmechanik geworfen. Das Verhalten einzelner Photonen am Doppelspalt betrachtet und dabei die Notwendigkeit der statistischen Beschreibung von Quantenobjekten erkannt. Da sich einzelne Photonen leider nur sehr schwierig im Realexperiment untersuchen lassen, wird erneut ein Simulationsprogramm zum Doppelspaltexperiment benutzt.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Durchführung der simulierten Experimente von Photonen (4.2 bis 4.4. von <a href="#">milq</a>)</li> <li>Experimente in der klassischen Physik laufen ebenfalls nach dem Schema (Präparation und Messung) ab. Wenn man einen Basketball so wirft, dass er in den Korb fällt, besteht die Präparation darin, den Ball mit der richtigen Geschwindigkeit unter dem richtigen Winkel abzuwerfen, die Registrierung des Durchgangs durch den Basketballkorb erfolgt z.B. durch ein angehängtes Netz. Führt man dieselbe Präparation (d. h. denselben Abwurf) mehrere Male hintereinander in genau der gleichen Weise aus, wird der Ball immer an derselben Stelle landen, d. h. in den Korb fallen. Das Ergebnis ist reproduzierbar. Ganz allgemein gilt in der klassischen Physik: Wenn man eine Reihe von Versuchen durchführt und dabei das Objekt immer auf die gleiche Weise präpariert, findet auch die Wechselwirkung in gleicher Weise statt und das Ergebnis der Messung ist für alle Versuche in der Versuchsreihe identisch.</li> <li>In der Quantenmechanik ist das anders. Beim Doppelspaltexperiment waren alle Photonen identisch präpariert, sie besaßen den gleichen Impuls. Trotzdem gelingt es nicht, das Ergebnis der Messung (d. h. den Ort auf dem Schirm) für ein einzelnes Photon vorherzusagen. Die Photonen sind nicht an der gleichen Stelle gelandet; das einzelne Ergebnis war nicht reproduzierbar. Man kann nur eine Wahrscheinlichkeitsaussage treffen: Nimmt man eine große Anzahl von Photonen und unterwirft sie dem gleichen Präparationsverfahren, so ergibt sich nach der Wechselwirkung mit dem Doppelspalt eine reproduzierbare Verteilung. Die relative Häufigkeit der an einem Ort nachgewiesenen Photonen (d. h. die Zahl der dort nachgewiesenen Photonen im Verhältnis zur Gesamtzahl der Photonen) ist zuverlässig vorhersagbar, wie sich in Experiment 4.4 herausgestellt hat.</li> </ul>

Kompetenzen			
Sachkompetenzen	Erkenntnisgewinnungskompetenzen	Kommunikationskompetenzen	Bewertungskompetenzen
S1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien	E1 beobachten und beschreiben physikalische Phänomene oder Sachverhalte	K1 recherchieren zu physikalischen Sachverhalten zielgerichtet in analogen und digitalen Medien und wählen für ihre Zwecke passende Quellen aus	B1 erläutern aus verschiedenen Perspektiven Eigenschaften einer schlüssigen und überzeugenden Argumentation
S2 erläutern Gültigkeitsbereiche von Modellen und Theorien und beschreiben deren Aussage- und Vorhersagemöglichkeiten	E2 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf	K2 prüfen verwendete Quellen hinsichtlich der Kriterien Korrektheit, Fachsprache und Relevanz für den untersuchten Sachverhalt	B2 beurteilen Informationen und deren Darstellung aus Quellen unterschiedlicher Art hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit und Relevanz
S3 wählen aus bekannten Modellen bzw. Theorien geeignete aus, um sie zur Lösung physikalischer Probleme zu nutzen	E3 beurteilen die Eignung von Untersuchungsverfahren zur Prüfung bestimmter Hypothesen	K3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder	B3 entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich relevanten oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab
S4 bauen Versuchsanordnungen auch unter Verwendung digitaler Messwerterfassungssysteme nach Anleitung auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre Beobachtungen	E4 modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen	K4 formulieren unter Verwendung der Fachsprache chronologische und kausal korrekt strukturiert	B4 bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil
S5 erklären bekannte Messverfahren sowie die Funktion einzelner Komponenten eines Versuchsaufbaus	E5 planen geeignete Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung	K5 wählen ziel-, sach- und adressatengerecht geeignete Schwerpunkte für die Inhalte von Präsentationen, Diskussionen oder anderen Kommunikationsformen aus	B5 reflektieren Bewertungen von Technologien und Sicherheitsmaßnahmen oder Risikoeinschätzung hinsichtlich der Güte des durchgeführten Bewertungsprozesses
S6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an	E6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen	K6 veranschaulichen Informationen und Daten in ziel-, sach- und adressatengerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge	B6 beurteilen Technologien und Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung und Konsequenzen und schätzen Risiken, auch in Alltagssituationen, ein
S7 wenden bekannte mathematische Verfahren auf physikalische Sachverhalte an	E7 berücksichtigen Messunsicherheiten und analysieren die Konsequenzen für die Interpretation des Ergebnisses	K7 präsentieren physikalische Sachverhalte sowie Lern- und Arbeitsergebnisse sach-, adressaten- und situationsgerecht unter Einsatz geeigneter analoger und digitaler Medien	B7 reflektieren kurz- und langfristige, lokale und globale Folgen eigener und gesellschaftlicher Entscheidungen
	E8 beurteilen die Eignung physikalischer Modelle und Theorien für die Lösung von Problemen	K8 nutzen ihr Wissen über aus physikalischer Sicht gültige Argumentationsketten zur Beurteilung vorgegebener und zur Entwicklung eigener innerfachlicher Argumentationen	B8 reflektieren Auswirkungen physikalischer Weltbetrachtung sowie die Bedeutung physikalischer Kompetenzen in historischen, gesellschaftlichen oder alltäglichen Zusammenhängen
	E9 reflektieren die Relevanz von Modellen, Theorien, Hypothesen und Experimenten für die physikalische Erkenntnisgewinnung	K9 tauschen sich mit anderen konstruktiv über physikalische Sachverhalte aus, vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt	
	E10 beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen und reflektieren ihre Generalisierbarkeit		
	E11 reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des konkreten Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie der gewonnenen Erkenntnisse (z. B.		

	Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit)	K10 prüfen die Urheberschaft, belegen verwendete Quellen und kennzeichnen Zitate	
--	---	--	--

**Beitrag zur Leitperspektive D**

Experimente können durch geeignete interaktive virtuelle Experimente oder mithilfe von Simulationen veranschaulicht werden. In der Simulation zum photoelektrischen Effekt können die Schülerinnen und Schüler verschiedene Elemente mit Licht unterschiedlicher Wellenlängen bestrahlen und die Auswirkungen auf die Elektronen untersuchen. Es lässt sich ebenso eine Gegenspannung einstellen, um die kinetische Energie der ausgelösten Elektronen zu ermitteln. Virtuelle Experimente gibt es auch zur Schattenkreuzröhre. Mit dem virtuellen Experiment zur Elektronenbeugung können die Schülerinnen und Schüler selbstständig die Beugung von Elektronen an Graphit-Kristallen untersuchen. Außerdem gibt es gute Simulationen zum Mach-Zehnder-Interferometer. Die Schülerinnen und Schüler setzen sich mit den möglichen Zukunftstechnologien, wie der Quantenkryptografie oder dem Quantencomputer, auseinander und lernen Qubits als Superpositionszustände kennen. Sie können im Schullabor „Light and Schools“ z. B. das Analogexperiment zur Quantenkryptographie durchführen.

**Beitrag zur Leitperspektive BNE**

Hier bietet sich als Kontext die Funktion von Solarzellen als wichtige Anwendung des inneren fotoelektrischen Effekts an. Dazu sind auch Grundlagen über Halbleiter notwendig. Auswirkungen der Quantencomputer auf die nachhaltige Entwicklung können diskutiert und bewertet werden.

**Beitrag zur Leitperspektive W**

Der Wert des kooperativen naturwissenschaftlichen Arbeitens mit seinen zukunftsweisenden Erkenntnissen für unsere moderne Gesellschaft wird von den Schülerinnen und Schülern in den Blick genommen, z. B. durch Besuche von Schullabors von Forschungseinrichtungen. Das sachliche Infragestellen vermeintlicher Gewissheiten und Autoritäten sowie das Hinweisen auf Widersprüche sind positive Werte, die im Zusammenhang der Quantenphysik genauso thematisiert werden können wie philosophische Aspekte der Erkenntnistheorie.