

Erkenntnisgewinnungskompetenz im Fach Physik

Bildungsstandards im Fach Physik für die allgemeine Hochschulreife

Erläuterungen verfasst von: Prof. Dr. Andreas Borowski, Prof. Dr. Alexander Kauertz
und Prof. Dr. Gesche Pospiech

1 Allgemeine Einführung

Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung gehören zum Kern naturwissenschaftlicher Bildung. Sie haben als wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen sowie als wissenschaftspropädeutisches Arbeiten eine lange Tradition im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss definieren dafür einen eigenen Kompetenzbereich *Erkenntnisgewinnung*, der in den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife für alle naturwissenschaftlichen Fächer fortgeführt und weiterentwickelt wird. Während die Kenntnisse über naturwissenschaftliche Fachinhalte und ihre Anwendung durch den Kompetenzbereich der Sachkompetenz beschrieben werden, umfasst der Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung vor allem Kompetenzen, die sich auf das Verständnis, die Nutzung und die Reflexion naturwissenschaftlicher Erkenntnisprozesse (wie z. B. das Experimentieren oder Modellieren) und das Wissenschaftsverständnis aus naturwissenschaftlicher Perspektive beziehen. Die Erkenntnisgewinnungskompetenz der Lernenden zeigt sich also in der Kenntnis von naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen und in der Fähigkeit, diese zu beschreiben, zu erklären und zu verknüpfen, um Erkenntnisprozesse nachvollziehen oder gestalten zu können und deren Möglichkeiten und Grenzen zu reflektieren.

Die Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife umfassen in diesem Kompetenzbereich vier Teilbereiche, die diesen Aspekten Rechnung tragen:

1. Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien bilden,
2. Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen,
3. Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren,
4. Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren

Typisch für naturwissenschaftliche Denkweisen ist das hypothetisch-deduktive Vorgehen bei der Durchführung von wissenschaftlichen Untersuchungen. Kennzeichnend ist dabei die deduktive Ableitung von Hypothesen aus Theorien sowie deren Stützung bzw. Falsifikation mittels empirischer (qualitativer oder quantitativer) Daten. Schritte des wissenschaftlichen Vorgehens sind z. B. die Formulierung von Fragestellungen und Hypothesen, die Planung und Durchführung von Untersuchungen sowie deren Auswertung und methodische Reflexion. Insbesondere bei der Ableitung von Hypothesen sowie der theoriebezogenen Deutung von

Evidenzen und deren Generalisierung weisen wissenschaftliches Denken und Fachwissen eine enge Verzahnung auf.

Die Erkenntnisgewinnung ist also häufig an die praktische Durchführung von Experimenten zur Datengewinnung gebunden, entsprechend haben Experimente auch für den Unterricht einen hohen Stellenwert. Insbesondere in der Oberstufe spielen zusätzlich (auch mathematische) Modellierungen eine wichtige Rolle für die Erkenntnisgewinnung. Ein Modell ist dabei ein theoretisches Konstrukt, das als physikalische Beschreibung der untersuchten Situation dient. Im Unterricht spielen darüber hinaus auch materielle oder virtuelle Objekte eine Rolle, die ebenfalls als Modell bezeichnet werden und didaktische Hilfsmittel für die Kommunikation oder das Lernen sind. Sie entsprechen dem ausgewählten naturwissenschaftlichen Untersuchungsgegenstand in bestimmten Eigenschaften oder Relationen und werden häufig anstelle aufwändiger oder nicht durchführbarer experimenteller Untersuchungen für Erklärungs- und Demonstrationszwecke verwendet.

Auch wenn das hypothetisch-deduktive Schema das wissenschaftliche Ideal ist, folgt das Vorgehen in der Wissenschaft nicht immer diesem typischen Schema. Aber seine Kenntnis und sichere Anwendung ermöglichen es in der Folge auch mögliche Abweichungen zu reflektieren. Die hier thematisierten drei Schritte

- ◆ Fragestellung / Hypothesenbildung,
- ◆ Planung und Durchführung einer Untersuchung,
- ◆ Auswertung / Interpretation der Ergebnisse

werden also nicht als der einzige Weg für naturwissenschaftliches Arbeiten verstanden, stellen aber dennoch einen typischen Weg dar, der auf viele naturwissenschaftliche Probleme – vor allem im schulischen Umfeld – anwendbar ist. Weitere Einflussfaktoren, die unter anderem dafür verantwortlich sind, dass in der Wissenschaft auch andere Wege gewählt werden und zum Erfolg führen, sollten daher im Teilbereich *Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren* eine entsprechende Rolle spielen. So können auf einer Metaebene auch die Merkmale naturwissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisiert und von nicht-naturwissenschaftlichen Aussagen und Methoden abgegrenzt werden.

2 Konkretisierung der Kompetenzteilbereiche durch Standards

Im Bereich der Erkenntnisgewinnungskompetenz wird das Ziel der gymnasialen Oberstufe im Hinblick auf Wissenschaftspropädeutik besonders deutlich. Kompetent in Bezug auf Erkenntnisgewinnung zu sein, bedeutet, dass die Lernenden jenseits der Kenntnisse über erlernte Verfahren und Methoden (die dem Bereich der Sachkompetenz zugeordnet werden) die Genese physikalischen Wissens grundsätzlich erlernen und reflektieren. Im Zentrum steht dabei, dass die Physik die Natur mit Hilfe theoretischer Begriffe, mit Modellen und Theorien beschreibt, die teilweise mathematisch formuliert sind. Diese theoretische Beschreibung wird mit empirischen Methoden fundiert und abgesichert. Hierzu gehört vor allem das Experimentieren, im Bereich der Astronomie auch die Beobachtung. Experimentell gefundene Daten werden im Rahmen von Modellen und Theorien ausgewertet und interpretiert. Andererseits werden aus Modellen und Theorien Aussagen abgeleitet, die ihrerseits experimentell überprüft werden können. Zu diesem Wechselspiel von Theorie und Experiment, einem induktiv-deduktiven Denken, das im Zentrum der Erkenntnisgewinnung der Physik liegt und die Gültigkeit physikalischer Aussagen sichert, erwerben die Lernenden Kenntnisse und Fähigkeiten, sowohl zu

(mathematischen) Verfahren, zur Modellierung als auch zur Entwicklung und Durchführung von Experimenten.

Zusätzlich kommt der Reflexion über naturwissenschaftliches Wissen, über naturwissenschaftliche Methoden und den Prozess der Erkenntnisgewinnung eine besondere Bedeutung zu. Den Lernenden wird bewusst, dass sowohl die theoretische Modellierung als auch die empirischen Methoden bestimmten Kriterien folgen und für Physik charakteristische Merkmale zeigen (vgl. nature of science). Dies soll sie in die Lage versetzen, physikalische Aussagen einzuordnen und deren Gültigkeitsbereich und deren Grenzen zu beurteilen.

Entsprechend werden die zugehörigen Kompetenzen in den Standards in vier Teilbereichen weiter ausdifferenziert. Teilweise werden die Kompetenzen bereits durch die Standards für den mittleren Schulabschluss angebahnt, sie sollen jedoch bis zum Abitur vertieft, mit einem höheren Grad der Selbstständigkeit angewendet und vor allem in Hinblick auf die Reflexions- und Beurteilungsfähigkeit erweitert werden. Damit wird eine neue Qualität der Kompetenzen im Sinne der Wissenschaftspropädeutik erreicht.

Wichtig ist, die Kompetenzbereiche nicht isoliert voneinander zu sehen. Die Prozesse der Erkenntnisgewinnung sind eng an Kompetenzen aus dem Bereich der Sachkompetenz gebunden, grenzen sich aber durch ihren interpretierenden und reflektierenden Anteil davon ab. Die Ergebnisse physikalischer Erkenntnisprozesse müssen anschließend im Sinne der Kommunikationskompetenz aufbereitet und weitergegeben werden oder können zur Bewertung von komplexen Sachverhalten aus vielfältigen Perspektiven herangezogen werden.

Die vier Teilbereiche des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung sind:

Teilbereich 1: „Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien bilden“

Zu diesem Teilbereich gehören die Standards:

Die Lernenden ...

E 1 identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten;

E 2 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf.

Die Lernenden sollen die Physik nicht als isoliertes Fach wahrnehmen, sondern seine Bedeutung in der Gesellschaft und im täglichen Leben erkennen. Dazu ist es notwendig, in meist komplexen Alltagssituation zunächst zu erkennen, welche Sachverhalte aus der Perspektive der Physik überhaupt zugänglich sind (**E1**). Dies liefert einen Einstieg in eine physikalische Modellierung. Auf der Basis von Theorien, Experimenten oder Modellen aus der Physik sind dann die entsprechenden präzisierten Fragestellungen zu entwickeln. Dabei ist es wichtig, dass die Lernenden reflektieren, dass nicht alle Fragestellungen naturwissenschaftlich beantwortet werden können. In vielen Fällen können die Naturwissenschaften nur aus ihrer spezifischen Perspektive beispielsweise Daten zur Beurteilung eines Sachverhalts beitragen, während eine vollständige Würdigung weitere Perspektiven erfordert (siehe auch Kompetenzbereich Bewertung). Viele naturwissenschaftlich relevante und interessante (innerphysikalische) Fragestellungen ergeben sich aus dem vorhandenen Wissen oder aus bestehenden Theorien, sodass diese oft nicht explorativ, sondern theoriegeleitet bearbeitet werden können. Daher sollen die Lernenden über die Kompetenz verfügen, entsprechende Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen aus der Theorie abzuleiten (**E2**).

Teilbereich 2: „Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen“

Die Physik nutzt verschiedene Verfahren der Erkenntnisgewinnung im Wechselspiel von Theorie und Experiment. Die Kompetenzen, die erforderlich sind, um diese Methodik einsetzen, reflektieren und beurteilen zu können, werden durch die folgenden Standards beschrieben:

Die Lernenden ...

- E 3 beurteilen die Eignung von Untersuchungsverfahren zur Prüfung bestimmter Hypothesen;
- E 4 modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen;
- E 5 planen geeignete Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung.

Die Kenntnis und der Einsatz theoretischer und experimenteller Untersuchungsverfahren der Physik gehört zum Bereich der Sachkompetenz. Hingegen geht es im Sinne einer kritischen Reflexion der Möglichkeiten und Grenzen physikalischer Erkenntnisgewinnung im Standard **E3** darum, kritisch zu prüfen, ob ein bestimmtes Verfahren im Hinblick auf Ziel und Fragestellung einer physikalischen Untersuchung überhaupt geeignet ist.

In der Durchführung eigener Untersuchungen entwickeln die Lernenden eigene Modellierungen (**E4**) oder planen eigenständig Experimente (**E5**). Die Nutzung ihnen bekannter Modelle oder die Durchführung von angeleiteten Experimenten gehören zur Sachkompetenz.

In der Bearbeitung einer konkreten Fragestellung sollte ein Fokus auf dem bewussten und zielgerichteten Einsatz von Modellierungen, Idealisierungen und Approximationen liegen, mit deren Hilfe physikalische Prozesse beschrieben werden. Dabei sind mathematische Mittel und physikalische Strukturen aufeinander zu beziehen.

Das experimentelle Vorgehen umfasst je nach Zielstellung (z. B. exploratives Vorgehen oder Hypothesenüberprüfung) qualitative oder quantitative Untersuchungen. Hierzu wählen die Lernenden auf der Basis ihrer Sachkompetenz Experimente und Untersuchungen aus, die der Hypothese respektive Fragestellung angemessen sind und die interpretierbare Ergebnisse liefern. Dies schließt beim vorausschauenden Planen zum Beispiel auch eine sorgfältige Variablenkontrolle mit ein. Hierbei ist natürlich die sachgerechte Durchführung, Protokollierung und (gegebenenfalls digitale) Auswertung des experimentellen Vorgehens sowie der Abgleich mit den theoretischen Grundlagen äußerst wichtig.

Heutzutage spielen in der physikalischen Forschung digitale Werkzeuge, sei es für Simulationen oder für die Aufnahme, Darstellung und Auswertung experimenteller Daten, zunehmend eine zentrale Rolle. Dies soll sich in angemessener Weise auch im Physikunterricht spiegeln, in dem die Lernenden geeignete, schulgerechte Werkzeuge zur Modellbildung, Simulation und Datenerfassung kennenlernen, einsetzen und auch geeignet auswählen können. In Übereinstimmung mit der KMK-Strategie zur Bildung in der digitalen Welt sollen Lernende bis zum Abitur über entsprechende Kompetenzen zur Nutzung solcher digitalen Werkzeuge verfügen.

Teilbereich 3: „Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren“

Die entsprechenden Kompetenzen bilden sich in vier Standards ab:

Die Lernenden ...

- E 6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen;
- E 7 berücksichtigen Messunsicherheiten und analysieren die Konsequenzen für die Interpretation des Ergebnisses;
- E 8 beurteilen die Eignung physikalischer Modelle und Theorien für die Lösung von Problemen;
- E 9 reflektieren die Relevanz von Modellen, Theorien, Hypothesen und Experimenten für die physikalische Erkenntnisgewinnung.

Im Standard **E6** spiegelt sich das für die Physik typische Wechselspiel Theorie – Experiment an konkreten Sachverhalten: Experimentell gewonnene Daten bedürfen der theoriegeleiteten Analyse und Interpretation. Dazu werden in einem ersten Schritt die Daten (auf Basis von Fragestellung oder Hypothesen) sinnvoll strukturiert, um darin Beziehungen und Trends erkennen zu können. Diese werden mit Hilfe von Modellen und Theorien erklärt, so dass zum einen die Aussagekraft von Modellen geprüft werden kann und zum anderen Schlussfolgerungen über die Gültigkeit der Hypothesen gezogen werden können. Bei der Beurteilung von experimentellen Ergebnissen und ihrer Interpretation spielen Messunsicherheiten eine wichtige Rolle (**E7**). Diese müssen identifiziert, quantifiziert und in ihrer Bedeutung für die Interpretation eingeordnet werden.

Für die Physik ist das Modellieren eine zentrale Methode, deren Bedeutung im Standard **E8** Rechnung getragen wird. Der kompetente Umgang mit Modellen umfasst demnach nicht nur die Fähigkeiten, mit ihnen zweckbezogen unter Berücksichtigung ihres Anwendungsbereichs und ihrer Grenzen Erkenntnisse gewinnen zu können, sondern auch, ihre Eignung für den jeweiligen Zweck beurteilen zu können. Während im Rahmen der Sachkompetenz die Anwendung von Modellen im Vordergrund steht, kommt es hier auf die Fähigkeit zur Beurteilung ihrer Angemessenheit an.

Im Standard **E9** wird das induktiv-deduktive Vorgehen der Physik aus einer Metaperspektive explizit gemacht: Die Lernenden gehen einen Schritt zurück und reflektieren ihr Vorgehen bei physikalischen Problemlösungen. Dabei kommt es darauf an, zu verdeutlichen, in welchem Zusammenhang beispielsweise Theorie und Hypothese stehen oder wie Experimente zu den Hypothesen passen. Die Lernenden sehen ein, dass Modelle beziehungsweise Hypothesen physikalisch im Rahmen von Theorien begründbar und experimentell untersuchbar sein müssen. Die Notwendigkeit dieses Zusammenspiels sollen die Schülerinnen und Schüler reflektieren, indem sie explizit die Passung theoretischen und empirischen Vorgehens überprüfen.

Teilbereich 4: „Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren“

Der vierte Teilbereich der Standards im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung nimmt die Merkmale naturwissenschaftlicher Erkenntnisse näher in den Blick.

Die Lernenden ...

- E 10 beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen und reflektieren ihre Generalisierbarkeit;

E 11 reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des konkreten Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie der gewonnenen Erkenntnisse (z.B. Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit).

Im Sinne des Alltagsbezugs und der Kontextorientierung des Physikunterrichts sollen die Lernenden nicht nur den Prozess der Idealisierung und Modellierung von einer Alltagssituation hin zur physikalischen Beschreibung durchlaufen (siehe **E 1**), sondern auch umgekehrt die theoretisch-physikalischen Aussagen auf konkrete Situationen beziehen. Wegen der inhärenten Idealisierung der Beschreibung realer Prozesse ist dabei die Generalisierbarkeit der theoretisch gefundenen Aussagen kritisch zu hinterfragen (**E10**). Hierfür sollen die Lernenden einen selber durchlaufenen Erkenntnisprozess (Aufstellung von Hypothesen, Verwendung von Modellen und Theorien, Durchführung und Interpretation von Experimenten) reflektieren. Dazu gehört vor allem, die Stringenz von Hypothesen z. B. im Hinblick auf logische Konsistenz sowie die Gültigkeit von Daten u. a. im Hinblick auf Reproduzierbarkeit zu beurteilen und mögliche Fehlerquellen zu ermitteln. Auch weitere wissenschaftliche Gütekriterien wie die Falsifizierbarkeit oder Intersubjektivität sollen hierbei an konkreten Beispielen explizit diskutiert werden (**E 11**). Hierbei können bei der Interpretation experimenteller Befunde gegebenenfalls Erkenntnisse anderer Fächer einbezogen werden, um die Plausibilität von physikalischen Erkenntnissen zu klären oder um eine Einordnung physikalischer Erkenntnisse in ein breiteres Verständnis der Welt vorzunehmen. Trotz eines hohen Anspruchs an die Objektivität und Reproduzierbarkeit der Erkenntnisse sind diese doch immer zu einem gewissen Grad subjektiv, da der Erkenntnisprozess kreative Momente beinhaltet, die z. B. durch den persönlichen Hintergrund des Forschenden, seine Einstellungen und Möglichkeiten geprägt werden. Die Lernenden sollen daher über die Kompetenz verfügen, diese Merkmale zu charakterisieren und zu reflektieren.

3 Konkretisierung der Standards in Lernaufgaben

Die beispielhaften Lernaufgaben sind in der Regel problemorientiert gestaltet. Dabei ist eine Fragestellung meist vorgegeben, um den Aufgaben eine Struktur zu geben. Die Lernaufgaben sind aber explizit so gestaltet, dass sie modular in den Unterricht integriert werden können.

Der erste Kompetenzteilbereich (mit den Standards E1 und E2) *Fragestellungen und Hypothesen auf Basis von Beobachtungen und Theorien bilden* spielt eine grundlegende Rolle. Die Standards **E1** (identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten) und **E2** (stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf) stehen im Unterricht oft am Anfang des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses. In der Lernaufgabe *Experimentelle Veranschaulichung des Induktionsgesetzes* werden diese dementsprechend durch den ersten Teil der Aufgabenstellung abgedeckt. Ausgehend von dem komplexen Induktionsgesetz bilden die Lernenden entsprechende Hypothesen, die anschließend experimentell überprüft werden. Inhaltlich bezieht sich die Aufgabe hauptsächlich auf die Problematik der kabellosen Aufladung resp. des kabellosen Betriebs elektronischer Geräte. Sie wird arbeitsteilig durchgeführt. Zusätzlich wird die angemessene Präsentation der gefundenen Ergebnisse verlangt.

Eine direkt auf eine physikalische Beobachtung am Millikan-Versuch bezogene Hypothesenbildung (**E2**) wird in der Aufgabe *Bestimmung der Elementarladung* im ersten Aufgabenteil gefordert. Der Standard **E2** wird auch aufgegriffen in der Lernaufgabe *Eignen sich Smartphones zur Messung der magnetischen Flussdichte?* Hier besteht eine Offenheit in Bezug auf die

möglichen Hypothesen, so dass diese Aufgabe flexibel an die Vorerfahrungen der Lerngruppe angepasst werden kann. Eine komplexe Hypothesenbildung wird in der Teilaufgabe 2.1 der Lernaufgabe *Makula-Degeneration durch LED-Lampen* angeregt. Hierbei liegt der Schwerpunkt weniger auf der experimentellen Überprüfbarkeit als auf der theoretischen Begründung.

Die zweite Gruppe von Standards (**E3-E5**) bilden den Kompetenzteilbereich Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen.

In der Aufgabe *Bestimmung der Elementarladung* soll die Aussagekraft des Millikan-Versuchs kritisch reflektiert werden. Damit wird der Standard **E 3** (beurteilen die Eignung von Untersuchungsverfahren zur Prüfung bestimmter Hypothesen) im zweiten Aufgabenteil, Teilaufgabe 5 abgebildet. Vor allem wird in dieser Aufgabe auch der Standard **E 4** (modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen) realisiert, indem digitale Hilfsmittel zur Auswertung der Daten eingesetzt werden. Hierbei wird den Lernenden auch deutlich, dass die Interpretation der Daten nicht trivial ist. Die Auswertung von Daten mit mathematischen Mitteln und grafischen Darstellungen wird ferner in der stark experimentell geprägten Aufgabe *Experimentelle Veranschaulichung des Induktionsgesetzes* verlangt, in der vor allem das Wechselspiel Theorie – Experiment beleuchtet wird. Die Nutzung mathematischer Methoden zur Ableitung einer Gleichung (Abhängigkeit der Kapazität von der Spannung) wird in der Aufgabe *Luftfeuchtigkeitssensor eA* in Teilaufgabe 3 geübt. In der Teilaufgabe 7.2 werden mathematisch gegebenen Zusammenhänge qualitativ erläutert und in Bezug zu den physikalischen Prozessen gesetzt.

In zahlreichen physikalischen und technischen Zusammenhängen ist es wichtig, eine vorgegebene Genauigkeit zu erreichen und zu entscheiden, ob bestimmte Messverfahren dazu geeignet sind. In der Aufgabe *Umgang mit Messunsicherheiten – Bestimmung der Fallbeschleunigung mit einem Fadenpendel* wird diese Problematik illustriert (Teilaufgabe 3c resp. 4). Diese Aufgaben können auch für den Standard **E 5** (planen geeignete Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung) herangezogen werden. Eine anspruchsvolle Realisierung des Standards **E3** ist in der Aufgabe *Eignen sich Smartphones zur Messung der magnetischen Flussdichte?* angelegt, in der die Eignung des eingebauten Magnetfeldsensors für Messungen überprüft wird. Da Smartphones sehr unterschiedliche Sensoren haben, die zudem auch unterschiedlich angeordnet sind, handelt es sich hierbei um eine offene Aufgabe.

Der Modellierungsaspekt des Standards **E4** wird illustriert in der Aufgabe *Abstandsgesetze bei Lichtquellen*, in der es darum geht, wie die Deckenbeleuchtung von Räumen für eine gute Ausleuchtung gestaltet werden sollte. Dabei lernen die Schülerinnen und Schüler in Teilaufgabe 2 mathematische Ausdrücke zu interpretieren und eine Modellierung an eine veränderte Situation (Erhöhung der Anzahl an Lichtquellen) anzupassen. In Teilaufgabe 3 setzen sie sich mit digitalen Werkzeugen als Unterstützung bei der Modellierung auseinander. Eine komplexe Modellierung mit expliziter Nutzung des Modellierungskreislaufs, der Interpretation von Gleichungen und ihrer digitalen Auswertung wird in der Aufgabe *Der Modellbildungskreislauf am Beispiel der Radaufhängung von Fahrzeugen* durchgeführt. Dabei geht es um das Verhalten eines Stoßdämpfers, um harmonische Schwingungen und unterschiedliche Arten der Schwingungsdämpfung. Dabei kommt es auf die Erklärung der gedämpften Schwingungsgleichung an, und wie diese Gleichung in einer Rechentabelle digital ausgewertet werden kann (Teilaufgaben 3, 5 und 6).

Der Standard **E 5** (planen geeignete Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung) wird in einer Form, die besondere Eigenständigkeit verlangt, in

der Aufgabe *Eignen sich Smartphones zur Messung der magnetischen Flussdichte?* gefördert. Die Lernenden sollen sich eigene Fragestellungen und deren experimentelle Beantwortung überlegen. Eine offene Anregung zum Standard **E5** findet sich auch im Aufgabenteil 4 der Aufgabe *Experimentelle Veranschaulichung des Induktionsgesetzes*, in dem die Lernenden angeregt werden, eigenen Fragestellungen zu möglichen Abhängigkeiten der Induktionsspannung nachzugehen.

Die dritte Gruppe von Standards (**E6 – E9**) nimmt das Ergebnis des Erkenntnisgewinnungsprozesses stärker in den Blick und bildet den Kompetenzteilbereich *Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren* ab.

Der Standard **E6** (erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen) wird in der Aufgabe *Experimentelle Veranschaulichung des Induktionsgesetzes* illustriert. Dabei überprüfen die Lernenden durch einen Vergleich, inwieweit ihre experimentellen Ergebnisse zum theoretisch vorgegebenen Induktionsgesetz passen. Im Zentrum der Aufgabe *Umgang mit Messunsicherheiten – Bestimmung der Fallbeschleunigung mit einem Fadenpendel* steht der Standard **E7** (berücksichtigen Messunsicherheiten und analysieren die Konsequenzen für die Interpretation des Ergebnisses). Dabei setzen sich die Lernenden sowohl theoretisch wie auch konkret anhand von im eigenen Experiment mit einem Fadenpendel gewonnenen Daten zur Fallbeschleunigung mit Messunsicherheiten auseinander. Die Relevanz der möglichst genauen Erfassung von Messunsicherheiten und die Notwendigkeit hinreichend vieler Daten wird in der Aufgabe *Gilt die Gleichung für eine lange Spule auch für andere Spulen?* in den Teilaufgaben 4 und 5 sichtbar. Hier werden Experiment und Modellierung (Idealisierung) am Beispiel einer langen dünnen Spule verglichen. Dies illustriert zugleich den Standard **E8** (beurteilen die Eignung physikalischer Modelle und Theorien für die Lösung von Problemen). In Teilaufgabe 4 sollen die Lernenden durch den Vergleich von theoretischer Vorhersage des Magnetfeldes in einer Spule mit den experimentellen Daten entscheiden, ob die Idealisierung gerechtfertigt war. Dies erfordert mathematische wie auch experimentelle Fertigkeiten einschließlich der Auswertung eines Experimentes unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten.

Zur Verdeutlichung von Standard **E9** (reflektieren die Relevanz von Modellen, Theorien, Hypothesen und Experimenten für die physikalische Erkenntnisgewinnung) sollen die Lernenden in den Aufgaben *Der Modellbildungskreislauf am Beispiel der Radaufhängung von Fahrzeugen* und *Abstandsgesetze bei Lichtquellen* im jeweils abschließenden Aufgabenteil die Schritte des Modellierungskreislaufs identifizieren und in Bezug zu den selber durchgeführten Tätigkeiten bei der Bearbeitung der Aufgabe setzen. In der Aufgabe *Gilt die Gleichung für eine lange Spule auch für andere Spulen?* sollen die Lernenden ihre Erfahrungen reflektieren, indem sie eine allgemeine Schrittfolge angeben, wie beurteilt werden kann, ob ein mathematisches Modell geeignet ist (Teilaufgabe 6).

Der vierte Teilbereich *Merkmale wissenschaftlicher Aussagen und Methoden charakterisieren und reflektieren* fokussiert die Merkmale naturwissenschaftlicher Erkenntnisse und wird durch die Standards **E10** und **E11** repräsentiert.

In der Aufgabe *Der Modellbildungskreislauf am Beispiel der Radaufhängung von Fahrzeugen* wird in Teilaufgabe 4 ein vorgegebenes Messprotokoll im Hinblick auf die Alltagssituation „Ist der Stoßdämpfer defekt?“ im Lichte der zuvor behandelten Modelle der viskosen und der Reibungsdämpfung interpretiert. Damit wird der Standard **E10** (beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen und reflektieren ihre Generalisierbarkeit) illustriert. Ein wenig komplexer ist dieser Standard in der Aufgabe *Abstandsgesetze bei Lichtquellen* realisiert. Hier sollen die Lernenden in Teilaufgabe 4 das gegebene mathematische Modell zur Abhängigkeit der Beleuchtungsintensität von der Zahl der Lichtquellen und der Entfernung

auswerten, die Aussage mit eigenen Worten beschreiben, mit eigenen Messungen vergleichen und daraus Empfehlungen für eine Beleuchtung ableiten. In diesen beiden Aufgaben wird durch die explizite Aufforderung der Reflexion und Beurteilung auch der Standard **E 11** (reflektieren Möglichkeiten und Grenzen des konkreten Erkenntnisgewinnungsprozesses sowie der gewonnenen Erkenntnisse (z.B. Reproduzierbarkeit, Falsifizierbarkeit, Intersubjektivität, logische Konsistenz, Vorläufigkeit).) illustriert. Die Intersubjektivität wird thematisiert im Aufgabenteil 3 der Aufgabe *Bestimmung der Elementarladung*, indem die Lernenden ihre Interpretation mit der von Millikan vergleichen sollen.

4 Literatur zum Weiterlesen

- ◆ KMK (2020). Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf (Zugriff am 18.06.2020)
- ◆ KMK (2016). Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2018/Strategie_Bildung_in_der_digitalen_Welt_idF_vom_07.12.2017.pdf (Zugriff am 18.06.2020)
- ◆ KMK (2004). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Verfügbar unter: https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf (Zugriff am 15.06.2020)
- ◆ Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 177-186). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- ◆ Upmeyer zu Belzen, A. & Krüger, D. (2019) Modelle und Modellieren im Biologieunterricht: Ein Fall für Erkenntnisgewinnung. *Unterricht Chemie*, 171, 38-41.
- ◆ Winkelmann, J. (2019). Idealisierungen und Modelle im Physikunterricht. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, 1*. Verfügbar unter: <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/938/1065> (Zugriff am 18.06.2020)