Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Institut für Physik und Astronomie
Didaktik der Physik

Name: Prof. Dr. Andreas Borowski
Telefon: 0331 977-1025
Telefax: 0331 977-5572

Datum: 31.03.2025

Schriftliche Expertise

Abschnitt 1 Kompetenzen und Standards

Frage 1: Welche Prinzipien sollten bei der Progression der Standards aus fachdidaktischer Sicht angewendet werden, unter der Voraussetzung, dass nun die Basiskonzepte auf alle Kompetenzbereiche anzuwenden sind?

In den weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) (KMK, 2024) beinhaltet die Sachkompetenz sechs, die Erkenntnisgewinnungskompetenz zehn, die Kommunikationskompetenz elf und die Bewertungskompetenz sieben Standards. Insgesamt umfassen somit die weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) 34 Standards. Wenn nun die vier Basiskonzepte „Erhaltung und Gleichgewichte“, „Modelle und Vorhersagen“, „Experimente und Verfahren“ sowie „Ursache und Wirkung“ mit allen Standards gekreuzt werden sollten, dann würden allein dadurch 136 Felder entstehen, ohne, dass eine Progression berücksichtigt wäre. Dies scheint also kein erfolgsversprechender Weg.
In den weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) steht auf Seite 13 zu den Basiskonzepten:

> „Der Beschreibung von physikalischen Sachverhalten liegen fachspezifische Gemeinsamkeiten zugrunde, die sich in Form von Basiskonzepten strukturieren lassen. Die Basiskonzepte im Fach Physik ermöglichen die Vernetzung fachlicher Inhalte und deren Betrachtung aus verschiedenen Perspektiven. Die Basiskonzepte werden übergreifend auf alle Kompetenzbereiche bezogen. Sie können kumulativ den Aufbau von

strukturiertem Wissen und die Erschließung neuer Inhalte fördern.
Die Basiskonzepte bilden die Grundlage typischer Vorgehensweisen beim Lösen physikalischer Probleme und werden in Lehr-Lern-Prozessen wiederholt thematisiert und ausdifferenziert. Den Lernenden wird aufgezeigt, dass diese grundlegenden Konzepte in vielen verschiedenen Lernbereichen einsetzbar sind und einen systematischen Wissensaufbau und somit den Erwerb eines strukturierten und mit anderen Natur- und Ingenieurwissenschaften vernetzten Wissens unterstützen."

Diese Beschreibung legt nahe, dass die Basiskonzepte als Hilfestellung zum Erlernen physikalischer Sachverhalte und Methoden als hilfreich angesehen werden, sie aber keiner eigenen Progression unterliegen. Vielmehr legen die Themenfelder und Inhaltsbereiche (siehe Abschnitt 2) eine Progression nahe, da dort die verwendeten Erhaltungssätze, Modelle und Experimente auf die Jahrgangsstufen verteilt werden. In der Physik zieht sich das Kausalitätsprinzip quer durch sehr viele Themenfelder hindurch. Aber in dem Themenfeld zur „ionisierenden Strahlung" muss thematisiert werden, dass einzelne Prozesse nur statistisch beschrieben werden können - das Prinzip der Kausalität also auch seine Grenzen hat. Wann dieses thematisiert wird, hängt aber stark davon ab, wann der entsprechende Inhalt behandelt wird.

Die in den weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) beschriebenen Standards sind nicht progressionsorientiert, sondern abschlussbezogen verfasst worden. Den Standards liegt kein fachdidaktisches Lernmodell zugrunde, sondern sie formulieren die Kompetenzen, die Schülerinnen und Schüler zum mittleren Schulabschluss in der Regel haben sollten. Um das Problem systematisch anzugehen, müsste für alle Standards untersucht werden, aus welchen Teilkompetenzen sie bestehen und wie diese am besten aufbauend zu erlernen sind (vgl. z.B. Harris et al. 2016). Für den Standard E 3.3 „Die Lernenden interpretieren Messergebnisse unter Berücksichtigung von Messunsicherheiten und beschreiben Möglichkeiten zur Verbesserung des Messprozesses" habe ich dies einmal exemplarisch zusammen mit meinem Kollegen Phillip Schoßau im Folgenden dargestellt.

Der nachfolgende Progressionsvorschlag zu Messunsicherheiten baut auf der Grundlage des Sachstrukturmodells nach Hellwig (2013) auf. Zudem werden die aktuellen Rahmenlehrpläne Nawi 5/6 (MBJS, 2015), sowie Physik und Mathematik der Sekundarstufe I (MBJS, 2015 & 2023) zur Berücksichtigung der Voraussetzungen der Schüler*innen berücksichtigt. Der Vorschlag zur Vermittlung der Inhalte zu Messunsicherheiten ist konsekutiv strukturiert mit dem Ziel, dass am Ende der Sekundarstufe I die Lernenden befähigt sind, Messunsicherheiten im

Rahmen des Erkenntnisgewinnungsprozesses anzuwenden und im Kontext zu Nature of Science einzuordnen. Dabei werden die Inhalte in die drei Doppeljahrgangsstufen aufgeteilt mit folgendem Fokus:

Doppeljahrgangsstufe 5/6: Qualitative Betrachtung
Doppeljahrgangsstufe 7/8: Quantitative Grundlagen schaffen
Doppeljahrgangsstufe 9/10: Komplexere Operationen und Hypothesentests

Nachfolgend werden die einzelnen Inhalte der Doppeljahrgangsstufen vorgestellt und erläutert, sowie Kontexten und Handlungsempfehlungen zugeordnet. In der Regel werden für die Handlungsempfehlungen zwei Lernenden-Experimente vorgeschlagen, wobei ein Experiment davon stets aus dem Rahmenlehrplan der zugehörigen Doppeljahrgangsstufe entnommen ist. Das andere Experiment ist vornehmlich an die Lebenswelt der Lernenden geknüpft und fachphysikalisch reduziert, wodurch eine kognitive Überforderung der Lernenden vermieden werden soll und der Fokus auf das Erlernen der Inhalte zu Messunsicherheiten liegt (Hellwig & Heinicke, 2020). Das anschließende RLP-Experiment stellt dann eine Transferleistung dar, wobei die Lernenden ihr neu erlangtes Wissen zu Messunsicherheiten auf einen fachphysikalischen Kontext anwenden. Die aufgelisteten Inhalte sind spiralcurricular anzuwenden bzw. zu wiederholen im Laufe der Schuljahre, da der Umgang mit Messunsicherheiten im Erkenntnisgewinnungsprozess bis einschließlich Jahrgangsstufe 12/13 wesentlich ist und gebraucht wird.

Doppeljahrgangsstufe 5/6

NoS - Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten

Die Jahrgangsstufen 5 und 6 sind noch Teil des Primarstufenbereichs und die mathematischen Fähigkeiten und Fertigkeiten der Lernenden sind noch weitestgehend begrenzt. Deswegen bietet sich eine qualitative Einführung von Messunsicherheiten an. Im Fach Nawi gibt es mit „Von den Sinnen zum Messen“ bereits ein Themenfeld, welches das Messen explizit thematisiert. Motiviert werden kann die Einführung von Messunsicherheiten über die Lernendenvorstellung aus der Wissenschaftsdisziplin Nature of Science, indem die Lernenden mit der Vorstellung von Physik als exakte Wissenschaft konfrontiert werden und dabei erkennen, dass es keinen wahren Wert in der Realität geben kann. Dazu kann als Experimentiervorschlag die Temperaturmessung auf dem Schulhof genutzt werden, indem die Lernenden die unterschiedlich ausfallenden Ergebnisse diskutieren, wodurch die Exaktheit des Messens bzw. der wahre Wert hinterfragt werden soll (Hellwig, 2021). Anschließend daran kann mithilfe des Experiments das 5M-Modell als Werkzeug zur Kategorisierung von Quellen von Messunsicherheiten eingeführt werden (Schoßau, 2023).

Messunsicherheit versus Messabweichung

Messunsicherheiten und Messabweichungen sind die zwei wesentlichen Grundbegriffe, welche die Lernenden so früh wie möglich verstehen und beherrschen sollten, da nur in Kombination der beiden Terme Hypothesen falsifiziert werden können. Neben einer formalen Definition mit zielgruppengerechter Sprache sollten die Begriffe qualitativ und experimentell veranschaulicht werden. Dazu bieten sich einfache Freihandexperimente mit hohem Streucharakter an, darunter das Werfen von Papierfliegern oder Flipmünzen auf eine Zielfläche oder Kirschkernweitspucken (Hellwig & Heinicke, 2020). Über die geworfenen Objekte können die beiden Grundbegriffe illustriert (MU = Streubreite der Papierflieger / Flipmünzen / Kirschkerne, MA = Abstand zum Bullseye / zur Ziellinie) und mithilfe der Begriffe Richtigkeit, Präzision und Genauigkeit sogar erste qualitative Vergleiche gezogen werden (Bsp. „Tom hat präziser geworfen [kleinere Streubreite], Hannes hingegen richtiger [kleinere Messabweichung zum Zielwert]“).

Im Themenfeld „Von den Sinnen zum Messen“ wird den Lernenden gezeigt, wie man Messwerte mit Messgeräten aufnimmt und wie diese Skalen für Vergleiche herangezogen werden. Hierfür kann die Gelegenheit genutzt werden, erste quantitative Elemente hinzuzufügen, indem bei Einfachmessungen von Längen und Massen auch erste Intervallbetrachtungen mit einbezogen werden, indem der kleinste und größte zumutbare Wert als Konzept für die Unsicherheitsabschätzung hinzugezogen wird. Damit wird noch einmal Bezug zu dem Eingang aufgestellten Lernendenvorstellung genommen, indem durch die Bemessung eines Intervalls die Vorstellung eines exakten, wahren Werts entgegengestellt wird. Eine konkrete Mathematisierung der Intervalle unter Berücksichtigung signifikanter Stellen sollte aufgrund der kognitiven Belastung vermieden werden.

Doppeljahrgangsstufe 7/8

Darstellung eines Messergebnisses

Der Fokus der Doppeljahrgangsstufe 7/8 liegt im zunehmenden Grad an Mathematisierung der Messunsicherheiten. Dabei wird der Fokus auf die korrekte Darstellung des Messergebnisses sowie die Bestimmung von Messunsicherheiten bei direkten Messungen und einfachen kombinierten Unsicherheiten gelegt. Anknüpfend an die Intervallbetrachtung bei Einfachmessung in der Primarstufe ist die Endlichkeit der Darstellung eines Messwerts durch die Messunsicherheit wesentlich zur Vermeidung von sog. Taschenrechnerergebnissen. Den Lernenden soll bewusst gemacht werden, dass aufgrund der Messunsicherheit die Genauigkeit des Messergebnisses begrenzt ist, was sich in der Darstellung des Ergebnisses widerspiegeln soll. Zur

Verdeutlichung der Relevanz sollen die Lernenden den Umfang von Kreisen bestimmen, indem sie den Durchmesser der Kreise ausmessen und anschließend den Umfang ausrechnen. Da die Zahl Pi irrational ist, wird das Ergebnis des Taschenrechners so lang wie das Display sein, wodurch das gewünschte Phänomen eintritt. Gleichzeitig braucht man sich keine Gedanken um eine Unsicherheitsfortpflanzung machen, da der Term zur Berechnung des Umfangs aus einer mathematischen Konstante und der einen Messgröße besteht. Im Anschluss kann über die gemessene Größe des Durchmessers und die Abschätzung der Intervallgrenzen der Messunsicherheit via größtem und kleinstem zumutbaren Wert das Konzept der signifikanten Stellen eingeführt werden, welche für die korrekte Ergebnisdarstellung gebraucht wird. Als RLP-Experiment für den Transfer kann hierfür jedes beliebige Experiment genutzt werden, bei dem direkte Messungen aufgenommen werden.

Direkte Messung I: Einfach- und Mehrfachmessung

Ein weiterer Schritt zur Bestimmung der Messunsicherheiten ist die Mehrfachmessung. Weitaus öfter sind die Lernenden mit Messungen konfrontiert, deren Messwerte schwanken. Über das Prinzip des größten Abstands zum Mittelwert kann ein überschätzendes, aber einfaches Streumaß vermittelt werden zur Angabe eines Unsicherheitsintervalls. Ein einfaches Klassenexperiment ist das Messen der Dauer eines von der Lehrkraft abgespielten audio-visuellen Signals, wo die Lernenden ein Zeitintervall (bspw. 3s) stoppen sollen. Die Lernenden kennen dabei nicht die exakte Dauer des Signals. Die Daten der Lernenden werden erfasst und es wird diskutiert, ob man sich auf den kleinsten, den am häufigsten genannten oder den Wert mit vielen Nachkommastellen einigen soll und wie man die Streuung der Daten erklären und berücksichtigen kann. Insbesondere bei der Zeitmessung mit dem Smartphone, dessen Auflösung im Hundertstelsekundenbereich liegt, fällt bei Anwendung der bisher gelernten Abschätzung zur Einfachmessung auf, dass durch die Reaktionszeit der Messenden die Unsicherheitsbestimmung durch Einfachmessung nicht mehr sinnvoll erscheint. Ausreißer können an dieser Stelle ebenfalls thematisiert werden, ebenso der Vergleich mit dem Referenzwert, also dem von der Lehrkraft festgelegten Zeitintervall. Als Transferleistung kann im Themenfeld Wechselwirkung und Kraft, alternativ auch im Themenfeld Mechanische Energie und Arbeit, mithilfe von Federkraftmessern die maximale Haftreibungskraft auf einer rauen Unterlage bestimmt werden (MBJS, 2015). Die Lernenden nehmen individuell Mehrfachmessungen auf und vergleichen die Unsicherheit bei durch Mehrfachmessung mit der Abschätzung der Einfachmessung über zumutbare Werte mit der Erkenntnis, dass die Mehrfachmessung für diesen Fall bessere Wahl ist.

Direkte Messung II: Geräteunsicherheit

Neben der Methodik der Einfach- und Mehrfachmessung als Quelle von Messunsicherheiten spielt das Messgerät selbst eine nicht unwesentliche Rolle in der Unsicherheitsbilanz. Verdeutlicht werden soll dies an einem stark gebrauchten Gliedermaßstab, dessen Gelenke zunehmenden Spielraum aufweisen und nicht mehr ganz bei Streckung einrasten, wodurch sich Schwierigkeiten bei der Ausrichtung bzw. Vermessung größerer Streckenabschnitte ergeben. Bei Vergleich mit einem Maßband und/oder einem brandneuen Gliedermaßstab soll den Lernenden verdeutlicht werden, dass jedes Messgerät aufgrund seiner Konstruktion eigene Unsicherheitsquellen besitzt, die das Messergebnis beeinflussen. Sind diese dem Hersteller zum Zeitpunkt der Fertigung bekannt, dann gibt dieser Kennwerte zur Abschätzung bzw. zur Kompensation heraus (im Falle des Gliedermaßstabs sind einheitliche Klassenkennzeichen vermerkt). Es kann an der Stelle der Unterschied einer Anzeigenunsicherheit im Sinne der Einfachmessung mit der Geräteunsicherheit (die in der Regel um ein Vielfaches größer ist) verdeutlicht werden. Als Transfer-Experiment bietet sich das Themenfeld Elektrische Stromstärke, Spannung, Widerstand und Leistung an, da dort zur Messung Multimeter eingesetzt werden, deren Geräteunsicherheit vom Hersteller meist im Manual mitveröffentlicht werden (MBJS, 2015). Auch hier können dann die Unsicherheiten durch Einfachmessung mit der Geräteunsicherheit verglichen werden. Ein zweites Beispiel für eine Geräteunsicherheit bilden die Ohm'schen Widerstände mit der Farbring-Codierung.

Fortpflanzung von Messunsicherheiten

Neben der direkten Messung physikalischer Größen müssen zur Bestimmung einer aus einem formelmäßigen Zusammenhang kombinierten Größe Messunsicherheiten bestimmt werden. Das standardmäßige Verfahren zur Bestimmung der Messunsicherheiten ist die Gauß'sche Unsicherheitsfortpflanzung. Dieses Verfahren setzt partielles Ableiten voraus, dessen Terminus Ableiten erst in der Oberstufe im Fach Mathematik thematisiert wird. Dennoch können in der Sekundarstufe I für Formeln mit einfachen Operationen Größenunsicherheitsabschätzungen betrieben werden. Anbieten würde sich wieder das Themenfeld Elektrische Stromstärke, Spannung. Widerstand und Leistung, da dort beide Fälle, Operationen ausschließlich mit Summen/Differenzen und Produkten/Quotienten, an einem Kontext auftauchen: die Bestimmung der Kenngrößen an Parallel- und Reihenschaltung (MBJS, 2015). Eine fachphysikalisch unabhängige Einführung kann über die Vermessung der Schultische erfolgen, da bei einer Umfangs- und Flächeninhaltsbestimmung nur rein additive bzw. multiplikative Terme auftauchen. Dort können beide Fälle an einem einfachen Kontext illustriert und der Terminus der relativen Unsicherheit eingeführt werden, welcher relevant ist für die Bestimmung der kombinierten Messunsicherheit bei einem Produkt-/Quotienten-Zusammenhang. Der Transfer stellt dann für die Summen-/ Differenzenregel die direkte Messung von Spannung und Widerstand in einer

Reihenschaltung bzw. die Stromstärke in einer Parallelschaltung und für die Produkt-/Quotientenregel die Anwendung des Ohm'schen Gesetzes zur Bestimmung des Widerstands mithilfe der am Bauelement gemessenen Spannung und Stromstärke dar.

Doppeljahrgangsstufe 9/10

Neben dem Erlernen fortgeschrittener Techniken wie der Stacking-Methode oder Messunsicherheiten bei Regression sollen die Lernenden in Klassenstufe 9/10 die wissenschaftstheoretische Relevanz von Messunsicherheiten verstehen, wie z.B. mithilfe von Messunsicherheiten durch das Falsifizieren von Hypothesen Erkenntnisse gewonnen werden.

Regression

In Klassenstufe 9/10 werden die aus den vergangenen Schuljahren erlangten Fähigkeiten und Fertigkeiten zusammengebracht und kombiniert. Präzedenzbeispiel dafür ist der Umgang mit Messunsicherheiten bei linearer Regression, welche unter anderem die Bestimmung von Messunsicherheiten bei Ein- und Mehrfachmessung, sowie die kombinierte Messunsicherheit voraussetzt. In einem ersten Zugang zu dem komplexen Thema soll in der Sekundarstufe I das Einzeichnen einer plausiblen Regressionsgerade erlernt werden, indem zu jedem einzelnen Datenpunkt die jeweilige Messunsicherheit in x- und in y-Richtung eingetragen und zu einem Unsicherheitsrechteck erweitert werden (Hellwig, 2013). Die Lernenden sollen dabei verstehen, dass nur dann ein linearer Zusammenhang als plausibel erscheint, wenn die Gerade ~~an~~ alle~~n~~ Unsicherheitsflächen schneidet bzw. mindestens berührt. Als Beispiel können die Versuche zum s(t)- bzw. v(t)-Gesetz bei geradlinig gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegungen aus dem Themenfeld Gleichförmige und beschleunigte Bewegungen verwendet werden (MBJS, 2015). Zwar sind diese nicht frei vom fachphysikalischen Kontext, wie bei den meisten Experimenten zuvor, allerdings sind für die Messung relevanten Größen Zeit und Weglänge den Lernenden bekannt und die kognitive Belastung überschaubar. Ein Experiment zur Implementation ist bspw. das Nachahmen der Bewegungsarten durch die Lernenden selbst. Dadurch werden bewusst Quellen von Unsicherheiten eingebaut, die ggf. Anlass zur Diskussion von Ausreißern und Modellgrenzen führen können. Ein Transfer-Experiment kann der Einsatz einer Aufziehraupe mit der Frage nach der Bewegungsart sein (Hellwig & Heinicke 2020). Eine Aufziehraupe macht für die Fortbewegung eine kontrahierende Bewegung mit dem Körper. Ziel des Experiments ist mithilfe einer Regressionsdarstellung zu begründen, ob es sich bei der Bewegung der Raupe um eine geradlinig gleichförmige Bewegung handelt oder nicht. Je nach Zeitintervall können für Aufzieh-raupen unterschiedliche Bewegungsarten zugeordnet werden. Dabei kann die Fragestellung bereits als Hypothese formuliert werden und die Eindeutigkeit der Erkenntnis hinterfragt werden. Fächerübergreifend

gesehen könnte das Experiment als Grundlage für spätere Anknüpfungspunkte zum RLP Mathematik über Differenzen- und Differentialquotienten genutzt werden.

Modellierung

Im Übergang von der kinematischen zur dynamischen Betrachtung von Bewegungen kann das Experiment zur Bestimmung der Fallbeschleunigung (MBJS, 2015) genutzt werden, um den Modellcharakter und die Rolle von dominanten Unsicherheitsquellen zu beleuchten. Die Lernenden sollen mithilfe einer geöffneten Vakuumröhre einfache Zeit- und Streckenmessungen durchführen und die theoretische Fallzeit bei vorgegebener Höhe und Fallbeschleunigung mit der Messung vergleichen. Das Experiment zu Fallbeschleunigung zeigt zum einen, dass unter Annahme des ideellen Modells einer einzig wirkenden Kraft (Gravitationskraft) eine systematische Messabweichung vorliegt, die durch eine Anpassung des Messprozesses (Vakuumisierung der Röhre) behoben werden kann. Den Lernenden soll mit dem Experiment der Modellcharakter verdeutlicht werden, also dass ein Modell nur einen Teil der Realität widerspiegeln kann und Grenzen besitzt, die aber veränderbar bzw. erweiterbar sind und Teil physikalischer Praxis beim Sammeln von Erkenntnissen sind. Weitere Beispiele können aus vorangegangenen Experimenten entnommen werden, wo systematische Messabweichungen mit einem dominanten Einflussfaktor eine Rolle gespielt haben (bspw. Stromrichtige und spannungsrichtige Messungen bei gleichzeitiger Messung mit zwei Messgeräten, Geräteunsicherheit, Reaktionszeit, Wirkungsgrad Spannungsübersetzung am Transformator). Zur weiteren fachdidaktischen Reduktion kann auch wieder das Zielwerfen mit Papierfliegern aus Klassenstufe 5/6 genommen werden, wo zusätzlich ein Ventilator senkrecht zur Flugbahn zwischen Werfende und Zielmarke aufgebaut wird und der Ventilator mit der Ablenkung des Papierfliegers den dominierenden Einflussfaktor darstellt. Zur Vermeidung einer kognitiven Überlastung soll diese Modellerweiterung (ebenso wie die des Versuchs zum Freien Fall) auf einem qualitativen Niveau bleiben. Eine mathematische Modellanpassung empfiehlt sich in Sekundarstufe II.

Alternativ und in Anlehnung zu den illustrierenden Lernaufgaben des IQB kann der Kontext auch auf Klimaphysik gelenkt werden, indem der Einfluss der Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre die Lufttemperatur beeinflusst (Schoßau, 2024). Dort kann zusätzlich zum Terminus der systematischen Messabweichung und dem Vergleich mit einem Bezugswert auch über die Rückführung auf den Messprozess diskutiert werden, welche Geräte (Thermometer, Tageslichtlampe, etc.) gewählt werden müssen, um die Messunsicherheit insoweit zu verringern, damit man Unterschiede überhaupt erkennen kann.

Testen von Hypothesen

Das Themenfeld Mechanische Schwingungen und Wellen bietet mit den Untersuchungen zu den Eigenschaften am Faden- und Federpendel ein sehr breites Feld zur Thematisierung von Messunsicherheiten (MBJS, 2015). Mithilfe einfacher Fadenpendel- oder Federschwinger-Experimente können die Lernenden sämtliche, bisher erlernte Verfahren zum Umgang mit Messunsicherheiten anwenden. Im Fokus dabei soll der Experimentierzyklus und das Aufstellen und Testen von Hypothesen liegen, wo die Lernenden verschiedene Abhängigkeiten von Kenngrößen mithilfe von Regressionsmodellen untersuchen und Hypothesentests durchführen können. Dabei soll noch einmal die Rolle von Messunsicherheiten beim Experimentieren hervorgehoben werden, da nur die Messunsicherheiten aufgestellte Hypothesen in Form von systematischen Messabweichungen zum Referenzwert falsifizieren können. Das Ziel ist die Verdeutlichung von Nature of Science und wie Erkenntnisse mithilfe von Experimenten erschlossen werden können. Dabei muss auch der Hypothesenbegriff als falsifizierbare Aussage ausgeschärft werden. Am Beispiel des sogenannten Paraffin-Paradoxons (Flinn Scientific, 2016) können dann die Lernenden einfache Hypothesen formulieren und testen und dann den Transfer auf das Fadenpendel- bzw. Federschwinger-Experiment vollführen.

Passend zu den Oszillatorexperimenten bietet sich auch die Einführung der Stacking-Methode an, was eine Modellanpassung beschreibt, indem durch das Messen gestapelter Größen eine Minimierung der relativen Unsicherheit erfolgt. Anlass bietet das Messen der Periodendauer von Oszillatoren in Themenfeld Mechanische Schwingungen und Wellen (MBJS, 2015), wo Einflussfaktoren wie die Reaktionszeit und das Abschätzen des Umschlagpunkts der Schwingung die Unsicherheit der Periodendauermessung erhöht. Stacking, hier das Messen einer Gesamtzeit für mehrere Schwingungen, reduziert die zuvor genannten Unsicherheitsquellen. Als Experiment vorangehend können dabei alltägliche Fragestellungen sein, bspw. wie dick ist ein Blatt Papier oder Haar, wie schwer ist ein Reiskorn, etc. (Hellwig & Heinicke, 2020). Als fachdidaktisch reduziertes Experiment bietet sich die Vermessung von Gummibärchen (Hellwig, 2021) oder quaderförmigen Kaubonbons an, indem durch die Aneinanderreihung die Stackingmethode geübt werden kann. Alternativ bietet sich auch die Pulsmessung bei Vergleich einer 5s- mit einer klassischen 60s-Messung an.

Hieraus ergibt sich überblicksartig folgender Gliederungsvorschlag, wobei die potentiellen Experimente in eckige Klammern gesetzt wurden.

Doppeljahrgangsstufe 5/6

1. NoS - Grundsätzliche Existenz von Messunsicherheiten
    - Unkenntnis des wahren Werts [Thermometermessung des Außenbereichs]

- Ursachen der Messunsicherheit, Einflussgrößen (5M)

2. Messunsicherheit versus Messabweichung
    - Definition Messunsicherheit und Messabweichung
    - Qualitativ: Präzision, Richtigkeit, Genauigkeit [Zielwerfen Papierflieger]
    - Genauigkeit des Schätzwertes über die Streubreite qualitativ unter Nutzung der Begriffe Präzision, Genauigkeit und Richtigkeit
    - Quantitativ I: Einfachmessung (analog) [Messen von Längen, Massen]
    - Festlegen eines Höchstwerts für die Messunsicherheit (zumutbare Werte)

Doppeljahrgangsstufe 7/8

3. Darstellung eines Messergebnisses
    - Endlichkeit der Darstellung
    - Mathematische Operationen als Einflussgröße [Einfachmessung Kreisdurchmesser, Berechnung des Umfangs]
    - Einführung signifikanter Stellen
    - Messergebnis als Zusammenfassung aller Informationen
    - Dokumentation von Messergebnissen (Bestwert & Unsicherheit, geltende Stellen)

4. Direkte Messung I: Einfach- und Mehrfachmessung
    - Quantitativ II: Mehrfachmessung [die Dauer eines Signals messen] [Federkraftmessung an haftenden bzw. noch nicht gleitenden Objekten]
    - Vergleich Einfach- und Mehrfachmessung
    - Ausreißer in einer Messreihe
    - Genauigkeit des Schätzwerts

5. Direkte Messung II: Geräteunsicherheit
    - Unvollkommenheit der Messgeräte [Alter, verbrauchter Gliedermaßstab] [Bestimmung der Geräteunsicherheit am Multimeter]
    - Vergleich Anzeigeunsicherheit (Einfachmessung) und Geräteunsicherheit

6. Fortpflanzung von Messunsicherheiten
    - Fortpflanzung von Messunsicherheiten I: additiv [Tischvermessung I: Kantenlänge bestimmen] [Messen von Spannung und Widerstand mithilfe eines Multimeters an einer Reihenschaltung, Stromstärke an einer Parallelschaltung]
    - Fortpflanzung von Messunsicherheiten II: multiplikativ [Tischvermessung II: Flächeninhalt bestimmen] [Anwendung des Ohm'schen Gesetzes an ohmschen Widerständen]
    - Mathematisches Modell der Auswertung

Doppeljahrgangsstufe 9/10

7. Regression
    - Einzeichnen von Unsicherheitsflächen
    - Grafische Darstellung, plausible Gerade [Zeit-Weg-Diagramme zu geradlinig gleichförmigen und gleichmäßig beschleunigten Bewegungen] [Welche Bewegungsart hat eine Aufziehraupe?]
    - Umgang mit Ausreißern

8. Nature of Science - Modellierung
    - NoS: Modellbegriff und Rolle von Messunsicherheiten, Modellgrenzen
    - Vergleich eines Messergebnisses mit dem Referenzwert, systematische Messabweichung [Zielwerfen Papierflieger mit Ventilator] [g-Bestimmung Freier Fall, IQB-Aufgabe Klimaphysik]

9. Nature of Science – Aufstellen und Testen von Hypothesen
    - NoS: Eigenschaften von Hypothesen und Rolle von Messunsicherheiten
    - NoS: Experimentierzyklus, Aufstellen und Testen von Hypothesen [Paraffin-Paradoxon] [Größenabhängigkeiten am Fadenpendel/Federschwinger untersuchen]
    - Stacking zur Anpassung des Messprozesses [Gummibärchen/Kaubonbon] [Periodendauer Fadenpendel/Federschwinger]

Wichtig ist hier hervorzuheben, dass die Standards explizit mit den Inhalten verknüpft wurden. Dies wurde auch schon in anderen Bundesländern (z.B. MV, BY) so gemacht. Auch sind hier explizit Experimente angegeben, die auch als verpflichtend dargestellt werden könnten, damit gezielt (auch fachfremde) Lehrkräfte bei der Durchführung der Experimente unterstützt werden können.

Frage 2: Wie kann die gestufte Standardformulierung ausgehend von der Jahrgangsstufe 5 bis zur Jahrgangsstufe 10 auf den Niveaustufen C-H in Doppeljahrgangsstufen beispielhaft für den Kompetenzbereich „Bewertungskompetenz“ für das Fach Physik aussehen?

Die Niveaustufen für den Bereich „Bewerten“ des aktuellen Rahmenlehrplans Brandenburg Teil C Physik untergliedert sich in die drei Bereiche „Handlungsoptionen diskutieren und auswählen“, „Handlungen reflektieren“ und „Werte und Normen reflektieren“ wobei der Bereich Handlungsoptionen diskutieren und auswählen“ sich noch einmal in die Unterbereiche „Bewertungskriterien“ und „Handlungsoptionen“ und der Bereich „Werte und Normen reflektieren“ in die Unterbereiche „Werte und Normen“ und „Sicherheits- und Verhaltensregeln“ unterteilt. Der Bereich „Handlungen reflektieren“ wird vollständig durch den Unterbereich „Schlussfolgerungen“ dargestellt.

Die weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) beziehen sich auf die u.a. von Langlet et al. (2022) im WAAGE-R Modell dargestellte Schrittfolge von Wahrnehmen, Analysieren, Argumentieren, Gewichten, Entscheiden und Reflektieren (vgl. auch Seite 11/12 der weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik). In der Publikation von Langlet et al. wird keine Progression im Sinne der Niveaustufen zum Erlernen der einzelnen Schritte des Modells vorgeschlagen.

Vielmehr werden dort für den kompetenzförderlichen Unterricht drei „Grundtypen“ vorgeschlagen: „Wahrnehmen und Analysieren“, „Argumentieren“ und „Gewichten, Entscheiden und Reflektieren“.

Das vorrangige Ziel des Grundtyps „Wahrnehmen und Analysieren“ ist es „… einen Konflikt und seine moralische Relevanz sowie seine normative Komplexität […] zu erfassen und mögliche Lösungsansätze […] in Form von Handlungsoptionen zu entwickeln“ (Langlet et al, 2022, S. 13). Diese Ziele werden in den abschlussbezogenen Standards der weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) so nicht thematisiert. Die genannten Kompetenzen werden aber benötigt, um die abschlussbezogenen Standards erreichen zu können. Somit wäre es eine Möglichkeit sich mit diesem Schritt schon frühzeitig zu beschäftigen, um das Herangehen an den Prozess des Bewertens und die damit verbundenen Herausausforderungen zu erlernen.

Bei dem Grundtyp „Argumentieren“ werden die Entscheidungsfrage und die Handlungsoptionen vorgegeben. Somit geht es primär um das „Argumentieren und Prüfen von Argumenten […] oder alternativ im Auswählen von relevanten Kriterien“ (Langlet et al, 2022, S. 13). Dieser Grundtyp wird sehr gut in den Standards B 1.1 „Die Lernenden prüfen vorgegebene Sachverhalte und Informationen hinsichtlich Schlüssigkeit und überzeugender Argumentation“; B 1.2 Die Lernenden „formulieren relevante Kriterien für den Bewertungsprozess“ und
B 1.3 „Die Lernenden beurteilen anhand vorgegebener Kriterien Sachverhalte und Informationen sowie deren Darstellung aus Quellen unterschiedlicher Art hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit und Relevanz“ abgebildet. Der dritte Grundtyp „Gewichten, Entscheiden und Reflektieren“ fokussiert darauf „vorgegebene vollständige Argumente/Kriterien zu gewichten, eine Entscheidung für eine der möglichen Handlungsoptionen zu treffen und diese anhand der vorgenommenen Gewichtungen zu begründen. Im Anschluss erfolgt eine Reflexion“ (Langlet, 2022, S. 14.). Dies wird für den ersten Teil durch die Standards B 2.1 „Die Lernenden bilden sich reflektiert und rational in überfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil“ und B 2.2 „Die Lernenden treffen begründete Entscheidungen unter Berücksichtigung fachlicher und überfachlicher Kriterien“ sowie für die Reflexion durch die Standards B 3.1 „Die Lernenden reflektieren Entscheidungen unter Berücksichtigung der nachhaltigen Entwicklung unter fachlichen, ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten und formulieren einfache Handlungsoptionen;“ sowie B 3.2 „Die Lernenden benennen Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse in historischen und gesellschaftlichen Zusammenhängen“ abgebildet. Beide Grundtypen beschreiben also Kompetenzen, die in den weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das

Fach Physik (MSA) adressiert werden. Das WAAGE-R Modell und andere Modelle zur Bewertungskompetenz geben aber eine Lernprogression vor, aus denen einen Stufung abgeleitet werden könnte.

Johanna Dejanovikj (2024) schlägt in ihrer Dissertation im Rahmen einer Intervention zur Förderung von Bewertungskompetenz vier unterschiedliche komplexe Entscheidungsstrategien vor (S. 33/34).

- „Trade-Off-Strategie: Die komplexeste Strategie ist eine kompensatorische Trade-Off-Strategie, bei der mehrere Optionen und mehrere Attribute betrachtet werden und der Gesamtnutzen der einzelnen Optionen als Summe aller Produkte aus der jeweiligen persönlichen Wichtigkeit eines Attributs und der jeweiligen Ausprägung berechnet wird. Die anschließende Wahl fällt auf die Option mit dem größten Gesamtnutzenwert.
- Cut-Off-Strategie: Etwas weniger komplex ist die Anwendung der nonkompensatorischen Cut-Off-Strategie. Auch hier werden mehrere Optionen und Attribute betrachtet. Es wird jedoch attributsweise verfahren, d. h. es werden sukzessive die Optionen ausgeschlossen, die auf den nach ihrer Wichtigkeit geordneten, nacheinander betrachteten Attributen jeweils den attributspezifischen Schwellenwert nicht erfüllen. So werden „schlechte“ Optionen der Reihe nach eliminiert bis schlussendlich die zu wählende Option zurückbleibt.
- Wieder weniger komplex ist das nonkompensatorische Treffen einer Entscheidung einzig auf der Basis eines Extremwerts. Es werden mehrere (meistens zwei) Optionen betrachtet, jedoch nur ein Attribut. Entschieden wird sich für diejenige der beiden Optionen, die den besseren Wert auf dem wichtigen, betrachteten Attribut hat.
- Die letzte nonkompensatorische Strategie des Entscheidens wird als Entscheiden durch Wiedererkennen oder Routinen betitelt. Hierbei werden gar keine Attribute betrachtet, sondern nur die Option gewählt, mit der der Entscheidende in diesem Kontext bereits Erfahrungen gemacht hat. In diesem Fall wird die Option also eher holistisch betrachtet und weniger analytisch im Hinblick auf ihre verschiedenen Attribute unterschieden.“

Die Komplexität der Entscheidung kann somit u.a. von der Vielschichtigkeit des Problems (mehrere Optionen und mehrere Attribute) gesteigert werden oder auch mit der Bekanntheit des Problems (Entscheiden durch Wiedererkennen) verringert werden. Hier würde es sich für den Rahmenlehrplan anbieten, in den verschiedenen Jahrgangsstufen konkrete Beispiele aufzunehmen, um so gezielt die beiden Parameter zu variieren.

Für die Niveaustufenbeschreibung könnte auf die von Anderson & Krathwohl (2001) überarbeiteten Stufen der revidierten Taxonomie von Bloom et al. zurückgegriffen werden. Anderson & Krathwohl beschreiben sechs Stufen von „Wissen“, die im Folgenden kurz auf die Thematik der Bewertung angepasst werden sollen.

1. Erinnern: Hierbei geht es darum, Wissen aus dem Gedächtnis abzurufen. Erinnern meint dabei das z.B. Definitionen oder Fakten wiedergegeben werden.
2. Verstehen: Hierbei sollen verschiedene Fakten zusammengebracht werden, um etwas zu erklären. Dies kann sowohl schriftlich als auch mündlich erfolgen.
3. Anwenden: Hierbei sollen z.B. bekannte physikalische Modelle bzw. Bewertungen auf neue Situationen angewendet bzw. für Probleme genutzt werden, um diese zu lösen.
4. Analysieren: Hierbei sollen Bewertungsprobleme in Teile zerlegt werden. Es geht darum feststellen, wie sich die Teile zueinander verhalten oder wie sie miteinander in Beziehung stehen, oder wie sich die einzelnen Teile auf eine Gesamtstruktur der Bewertung beziehen.
5. Evaluieren: Hier sollen Bewertungen von Dritten auf der Grundlage von Kriterien und Werten überprüft und bewertet werden.
6. Erstellen: Zusammenfügen der vorherigen Schritte, um zu einer kohärenten und nachvollziehbaren Bewertung zu gelangen. Das Erstellen erfordert, dass die verwendeten Argumente auf neue Weise zusammengesetzt oder zu etwas Neuem und Eigenen entwickelt werden.

Für die Doppeljahrgangsstufen könnte das bedeuten, dass jeweils zwei Stufen dort primär thematisiert werden. In den Jahrgangsstufen 5/6 könnte es dann darum gehen erst einmal zu verstehen, was eine Bewertung ist, wo man eine Bewertung schon mal erlebt hat und dass es bei einer Bewertung zum Abwägen von verschieden Kriterien kommen kann. In der Doppeljahrgangsstufe 7/8 sollten die Schülerinnen und Schüler dann bekannte Abläufe von Bewertungsverfahren auf neue Probleme anwenden und unbekannte Probleme in Teilprobleme aufgliedern können. In der letzten Doppeljahrgangsstufe sollten dann vorgegebene Bewertungen analysiert werden und ein nachvollziehbares eigenes Urteil gebildet werden können. Hier wäre es vorteilhaft, wenn die Inhalte „Biologische Wirkung und medizinische Nutzung ionisierender Strahlung“ und „Klimaphysik, insbesondere Strahlungshaushalt der Erde (Rückstrahlvermögen, mögliche Kippelemente, natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt)“ in diesen Jahrgangsstufen unterrichtet werden würden, da hieran das Evaluieren einer fremden Bewertung und das Erstellen einer eigenen Bewertung gut an verschiedenen Beispielen geübt werden kann.

Frage 3: Wie können aus fachdidaktischer Sicht die Bildungsstandards der drei naturwissenschaftlichen Fächer strukturell so miteinander verzahnt werden, dass in einem fächerverbindenden Unterricht oder bei einem Unterricht in Lernbereichen eine vernetzte Kompetenzentwicklung beschrieben werden kann?

Eine Verzahnung der drei naturwissenschaftlichen Fächer kann sowohl über die Kompetenzbereiche als auch über die Inhalte erfolgen. Im Folgenden sollen mögliche Überschneidungen in den Kompetenzbereichen dargestellt werden, bevor eine Vernetzung über mögliche Inhalte diskutiert wird. Bei den Inhalten weise ich darauf hin, dass das die Sicht der Physik ist. Biologie und Chemie könnten das ganz anders sehen, da hier eine andere Fachperspektive vorliegt.

In den weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für die drei naturwissenschaftlichen Fächer sind die vier Kompetenzbereiche identisch und bei der Entwicklung wurde versucht, die Teilkompetenzbereiche ähnlich zu gestalten. Für die Kommunikationskompetenz und die Bewertungskompetenz ist das gelungen. Im Kompetenzbereich Bewertungskompetenz unterscheiden sich die Teilkompetenzbereiche. Eine mögliche Vernetzung kann auf jeden Fall aber auch über die einzelnen Standards erfolgen. Aufgrund der unterschiedlichen Teilkompetenzbereiche sind für die Erkenntnisgewinnungskompetenz drei Beispiele und für die Kommunikations- und Bewertungskompetenz zwei Beispiele angeben.

Erkenntnisgewinnungskompetenz

Die experimentelle Methode ist wesentlich für alle Naturwissenschaften. Über die Naturwissenschaften gleich ist auch, dass zu Experimenten Fragestellungen und Hypothesen gebildet werden müssen. In den verschiedenen weiterentwickelten Bildungsstandards in den einzelnen Naturwissenschaften wird das wie folgt abgebildet:

> Biologie: E 3.1 Die Lernenden formulieren Fragestellungen und Hypothesen zu Ursache-Wirkungs-Beziehungen;
> Chemie: E 1.1 Die Lernenden erkennen und entwickeln Fragestellungen und Hypothesen, die mithilfe chemischer Kenntnisse und Untersuchungen, insbesondere durch chemische Experimente, zu beantworten bzw. zu prüfen sind;
> Physik: E 1.2 Die Lernenden identifizieren und formulieren Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten; sowie E 1.3 Die Lernenden stellen Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf.

Nach dem Aufstellen der Fragestellungen und Hypothesen müssen dazu passende Experimente geplant und durchgeführt werden. Auch dies bilden die weiterentwickelten Bildungsstandards in den einzelnen Naturwissenschaften wie folgt ab:

Biologie: E 3.2 Die Lernenden planen und führen Experimente unter Beachtung der unabhängigen und der abhängigen Variablen sowie Kontrollen auch mit digitaler Messwerterfassung durch;

Chemie: E 1.2 Die Lernenden planen Untersuchungen und Experimente zur Überprüfung von Vermutungen und Hypothesen und führen diese fachgerecht durch;

Physik: E 2.1 Die Lernenden planen geeignete Experimente und Auswertungen zur Untersuchung physikalischer Fragestellungen, auch mithilfe digitaler Messwerterfassung und -auswertung;

Neben der experimentellen Methode ist das Arbeiten mit Modellen und das Modellieren von Phänomenen eine verbindende naturwissenschaftliche Methode um Erkenntnisse zu gewinnen. Dies bilden die weiterentwickelten Bildungsstandards in den einzelnen Naturwissenschaften wie folgt ab:

Biologie E 4: Erklärend und voraussagend modellieren: E 4.1 Die Lernenden modellieren mögliche Erklärungen für biologische Phänomene; E 4.2 Die Lernenden prüfen aus Modellen abgeleitete Hypothesen mit qualitativen und quantitativen Daten auch mit digitalen Werkzeugen; E 4.3 Die Lernenden beurteilen die Gültigkeit von Modellen für das Erklären und Voraussagen biologischer Phänomene, auch mit Bezügen zu Basiskonzepten.

Chemie: E 3.2 Die Lernenden erkennen das Denken in Modellen und das Experimentieren als zentrale Methoden der Erkenntnisgewinnung in der Chemie;

Physik: E 2: Fachspezifische Modelle und Verfahren charakterisieren, auswählen und zur Untersuchung von Sachverhalten nutzen: E 2.2 Die Lernenden entwickeln einfache geeignete Modelle (z. B. Denkmodelle, grafische Darstellungen, mathematische Gleichungen), auch mithilfe digitaler Werkzeuge, wobei sie Hypothesen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen.

Kommunikationskompetenz

Wie oben beschrieben ist die Struktur der Teilkompetenzbereiche im Kompetenzbereich Kommunikationskompetenz in den weiterentwickelten Bildungsstandards in den einzelnen Naturwissenschaften gleich und wie folgt: K 1 Informationen erschließen; K 2 Informationen aufbereiten; K 3 Informationen austauschen und diskutieren

In dem Teilkompetenzbereich „Informationen erschließen“ erwarten die weiterentwickelten Bildungsstandards in den einzelnen Naturwissenschaften, dass die Lernenden in der Lage sind zu fachspezifischen Sachverhalten gezielt in den verschiedenen Medien zu recherchieren. Das bildet sich folgt ab:

> Biologie: K 1.1 Die Lernenden recherchieren zu biologischen Sachverhalten quellenbezogen und zielgerichtet in analogen und digitalen Medien;
>
> Chemie: K 1.1 Die Lernenden recherchieren zu chemischen Sachverhalten in unterschiedlichen, auch digitalen, Quellen;
>
> Physik: K 1.2 Die Lernenden recherchieren zu physikalischen Sachverhalten zielgerichtet in analogen und digitalen Medien und wählen für ihre Zwecke passende Quellen aus;

Auch sehr ähnlich ist, dass die Lernenden die Arbeitsergebnisse präsentieren sollen. Dabei ist zu beachten, dass fachtypische Darstellungsformen angewendet werden sollen und die Präsentation auch sachgerecht, in Bezug auf das Fach, erfolgen soll. Insgesamt zeigt sich aber eine sehr große Ähnlichkeit bei dieser Kompetenz, die sich in den weiterentwickelten Bildungsstandards in den einzelnen Naturwissenschaften wie folgt darstellt:

> Biologie: K 3.1 Die Lernenden präsentieren Arbeitsergebnisse situations- und adressatengerecht unter Anwendung von Fachsprache und fachtypischen Darstellungsformen mit analogen oder digitalen Medien;
>
> Chemie: K 3.1 Die Lernenden dokumentieren und präsentieren den Verlauf und die Ergebnisse ihrer fachlichen Arbeit, Überlegung oder Recherche adressatenbezogen auch unter Nutzung digitaler Werkzeuge;
>
> Physik: K 3.1 Die Lernenden präsentieren physikalische Sachverhalte sowie Lern- und Arbeitsergebnisse sach-, adressaten- und situationsgerecht unter Einsatz geeigneter analoger und digitaler Medien.

Bewertungskompetenz

Wie oben beschrieben ist die Struktur der Teilkompetenzbereiche im Kompetenzbereich Bewertungskompetenz in den weiterentwickelten Bildungsstandards in den einzelnen Naturwissenschaften gleich und wie folgt: B 1 Sachverhalte und Informationen kriteriengeleitet bewerten; B 2 Meinungen bilden und Entscheidungen treffen; B 3 Entscheidungen und deren Folgen reflektieren.

Wie oben beschrieben ist es für die Lernenden zentral, sich selbst und eigenständig ein Urteil über komplexe Sachverhalte bilden zu können. Diese Kompetenz spiegelt sich auch in den

weiterentwickelten Bildungsstandards in den einzelnen Naturwissenschaften wider:

Biologie: B 2.2 Die Lernenden gewichten Bewertungskriterien und Handlungsoptionen für Entscheidungen zu bewertungsrelevanten Sachverhalten; B 2.3 Die Lernenden treffen Entscheidungen auf der Grundlage von Argumenten, Bewertungskriterien und Handlungsoptionen.

Chemie: B 2.1 Die Lernenden nutzen zur Entwicklung von Handlungsoptionen naturwissenschaftliche Kriterien, setzen diese zu anderen Kriterien in Beziehung und wägen diese ab; B 2.2 Die Lernenden treffen begründete Entscheidungen unter Berücksichtigung fachlicher Kriterien;

Physik: B 2.1 Die Lernenden bilden sich reflektiert und rational in überfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil; B 2.2 Die Lernenden treffen begründete Entscheidungen unter Berücksichtigung fachlicher und überfachlicher Kriterien.

In den weiterentwickelten Bildungsstandards in den einzelnen Naturwissenschaften folgen die Standards, in denen über die Folgen von Entscheidungen reflektiert werden soll, nach dem Bilden des eigenen Urteils. Allen Naturwissenschaften ist wichtig, dass die Lernenden auch diese Kompetenz erlernen. Sie bildet sich wie folgt ab:

Bio: B 3.2 Die Lernenden reflektieren Folgen von Entscheidungen für die Natur, das Individuum und die Gesellschaft;

Chemie: B 3.2 Die Lernenden analysieren Entscheidungen in Hinblick auf Handlungsresultate.

Physik: B 3.2 Die Lernenden benennen Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse in historischen und gesellschaftlichen Zusammenhängen.

Die neu zu erstellenden Rahmenlehrpläne von Biologie, Chemie und Physik in Brandenburg sollten sich wechselseitig aufeinander beziehen. Wie das gehen kann, habe ich versucht beispielhaft an verschiedenen Standards in drei Kompetenzbereichen zu zeigen. In den Rahmenlehr-plänen sollte deutlich sein, in welchem Fach die Kompetenzen erstmalig und ggf. an einfachen konkreten Beispielen erworben werden und an welchen Stellen sie auf andere Fächer transferiert werden. Die erste Lerngelegenheit sollte dabei in einem möglichst lebensweltlichen Bezug für die Lernenden erfolgen. So könnte z.B. das Formulieren von Hypothesen im Biologieunterricht anhand von makroskopischen und lebensweltlichen Phänomenen erstmalig erlernt werden, bevor es im Physikunterricht auf makroskopische und eher abstrakte Phänomene in der Physik und danach auf mikroskopische und eher abstrakte Phänomene in der Chemie übertragen wird.

Eine inhaltliche Vernetzung bietet sich aus Sicht der Physik insbesondere bei Folgenden inhaltlichen Aspekten aus den weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) an: Grenzen der Wahrnehmung durch Lebewesen; Klimaphysik; biologische Wirkung und medizinische Nutzung ionisierender Strahlung. Insbesondere die Klimaphysik könnte durch biologische und chemische Aspekte zu Ursachen und Folgen des natürlichen und anthropogenen Treibhauseffekts bereichert werden. Dadurch könnte der Inhalt umfassender dargestellt werden und eine Urteilsbildung (s.o.) könnte differenzierter erfolgen.

Abschnitt 2 Themenfelder und Inhalte

Frage 4: Welche Argumente gibt es aus fachdidaktischer Sicht für bzw. gegen eine Differenzierung in Basis- und Erweiterungsmodule?

Um die Frage zu beantworten muss klar sein, was das Ziel dieser Aufteilung ist. Hierzu nehme ich an, dass die in den weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) geforderten Kompetenzen und verbindlichen Inhalte auch in den Basismodulen erreicht werden können. Dann wäre aus meiner Sicht das Ziel einer Differenzierung in Basis- und Erweiterungsmodule die Lernenden je nach Leistung individuell zu unterstützen und zu fördern. Aus fachdidaktischer Sicht ist diese Überlegung sehr gut und bietet viele Vorteile. So kann z.B. in Basis- und Erweiterungsmodulen besser auf die individuellen Bedürfnisse der Lernenden eingegangen werden. Dadurch kann es zu einem stärkeren Erleben der eigenen Kompetenz kommen, was dann zu einer Steigerung der intrinsischen Motivation führt (Deci & Ryan, 2000). Diese Motivationssteigerung kann sich dann auf den Unterricht und das fachliche Lernen positiv auswirken.

Ein weiterer Unterschied zwischen Basis- und Erweiterungsmodulen könnten auch die verpflichtenden Experimente sein, die im Unterricht durchgeführt werden sollten (vgl. zeitliche Grobplanung bei Frage 6). Dort wird z.B. vorgeschlagen, dass das Experiment zur Bestimmung der Federkonstanten oder auch zu den Widerstandsgesetzen in Erweiterungsmodulen thematisiert werden könnte. Diese Experimente sind nicht Teil der verbindlichen Inhalte, eignen sich aber sehr gut zum Vertiefen des praktischen Verständnisses und der Fähigkeit, wissenschaftliche Fragestellungen selbstständig zu bearbeiten.

Zudem könnten bei der Bearbeitung des Strahlungshaushalts der Erde unterschiedlich kom-

plexe Modelle thematisiert werden. Auch könnten diese im Grad der Mathematisierung unterschiedlich abstrakt dargestellt werden. So könnten z.B. in einem Basismodul der Strahlungshaushalts der Erde einmal ohne Atmosphäre und einmal mit einer einfachen Atmosphärenschicht behandelt werden. Dies könnte auch nur qualitativ behandelt werden, um zu erkennen welchen Einfluss unsere Atmosphäre und darin insbesondere das CO_2 besitzt. Für das Erweiterungsmodul könnten darüber hinaus ein Modell mit einer zwei- oder mehrschichtigen Atmosphäre thematisiert werden. Je nach Leistungsstand der Lernenden kann das in der Schule auch angeleitet quantitativ erfolgen.

Frage 5: Nach welchen Kriterien sollte aus fachdidaktischer Sicht die Priorisierung der Themenfelder und Inhalte in Basis- und Erweiterungsmodulen erfolgen?

Wie oben beschrieben müssen aus meiner Sicht alle verbindlichen Inhalte und Standards auch mit den Basismodulen zu erlernen sein. Deswegen sollten die Erweiterungsmodule dann angeboten werden, wenn die Lernenden die Leistungsfähigkeit dazu haben. Zudem könnten weitere Module zu Inhalten entwickelt werden, die nicht als verbindliche Inhalte in den weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) enthalten sind. Je nach Interessen der Lernenden bieten sich die Astrophysik oder die Medizinphysik an. Auch könnte ein zusätzliches Themenfeld z.B. „Vernetzung/Praktikum“ (vgl. Tabelle 3) als Erweiterungsmodul kreiert werden, in dem an weiteren ausgewählten Inhalten die Verknüpfung der Themenfelder und experimentelle Kompetenzen vertieft werden können.

Frage 6: Wie könnte dies beispielhaft für ein Themenfeld (z.B. Themenfeld 3.1 „Thermisches Verhalten von Körpern“) aussehen?

In der folgenden Tabelle 2 ist auf zwei Seiten ausgeführt, wie das Themenfeld „Thermisches Verhalten von Körpern“ aussehen könnte. Hierbei habe ich mich eng an den bisherigen Rahmenlehrplan gehalten. Zusätzlich habe ich ein Feld eingefügt, bei dem die zu erlernenden Standards explizit aufgeführt werden. Durch diese Verschränkung von zu erlernenden Kompetenzen und Inhalten kann sichergestellt werden, dass alle Kompetenzen insgesamt im Rahmenlehrplan adressiert werden. Zudem habe ich einen Vorschlag für eine mögliche Aufteilung der Inhalte auf Wochenstunden eingefügt (Tabelle 3). Nur wenn die zu erlernende Inhalte und Kompetenzen auch auf die zur Verfügung stehenden Wochenstunden bezogen werden, kann sichergestellt werden, dass die Lernenden genügend Zeit haben, die Inhalte und Kompetenz auch zu erlernen. Somit ist mein Vorschlag für eine einheitliche Darstellung der Themenfelder in Tabelle 1 dargestellt. Die in Tabelle 3 dargestellten Themenfelder orientieren sich dabei an

der in den weiterentwickelten Bildungsstandards in den Naturwissenschaften für das Fach Physik (MSA) vorgeschlagenen Gliederung der Inhalte. Zudem sind die in der zweiten Spalte angegebenen Inhalte schon etwas an die verbindlichen Inhalte angepasst. Weiterhin sind in der dritten Spalte Experimente vorgeschlagen, die verbindlich gemacht werden könnten. Aufgrund der verbindlichen Inhalte und den damit einhergehenden verbindlichen Experimenten sowie den von den Lernenden zu erlernenden Kompetenzen würde ich dringend empfehlen, dass Physik in den Jahrgangsstufen 7-10 mit 8 Stunden unterrichtet wird.

Tabelle 1: Vorschlag zur Gestaltung der Themenfeldbeschreibungen. Struktur (mit Kommentaren)

0.	***Themenfeldbezeichnung***	
Text zur Einführung in das Themenfeld: wichtige Schwerpunkte und Besonderheiten des Themenfeldes, fachdidaktische Klippen, Zusammenhänge zu anderen Themenfeldern		
	Basisniveau *Oberschule (Bildungsgänge EBBR, FOR)*	**Erhöhtes Niveau** (zusätzlich zum Basisniveau) *Gymnasium, Gesamtschule (vertiefte Bildung)*
Inhalte	*Alle hier genannten Angaben sind verbindlich.* –	*Alle hier genannten Angaben sind verbindlich.*
Fachbegriffe	*Alle hier genannten Angaben sind verbindlich.* –	*Alle hier genannten Angaben sind verbindlich.*
Experimente, Untersuchungen	*Alle hier genannten Angaben sind verbindlich.*	*Alle hier genannten Angaben sind verbindlich.*

Beiträge zur Kompetenzentwicklung	*Dieser Abschnitt sollte wie im Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe, Teil C, Physik gestaltet werden, d.h., es werden inhaltsbezogene Kompetenzen formuliert. Dabei wird darauf geachtet, dass Inhalt und Kompetenz aufeinander abgestimmt sind.* *Diese Zuordnung ist exemplarisch, da die jeweilige Kompetenz auch anhand anderer Inhalte entwickelt werden kann.* *Insgesamt sollte über alle Themenfelder betrachtet eine ausgewogene Verteilung der Standards erfolgen und darauf geachtet werden, dass alle Standards adressiert werden. Wenn bei schulinternen Curricula eine andere Verteilung der Standards auf die Themenfelder festgelegt wird, dann sollten trotzdem alle Standards insgesamt abgebildet sein.* *Enthält die jeweilige Kompetenz einen Basiskonzeptbezug, so wird dieser in Klammern angegeben.*	.
Mögliche Kontexte	*Es sind besonders geeignete Kontexte anzugeben.* –	

Tabelle 2: Beispielhafte Darstellung des Themenfeldes „Eigenschaften und thermisches Verhalten von Körpern.

TF 1	**Eigenschaften und thermisches Verhalten von Körpern**	
Dieser Zugang zur Physik soll exemplarisch anhand von ausgewählten, interessanten Phänomenen und Experimenten der Thermodynamik erfolgen. Wichtige Tätigkeiten, die die Lernenden bereits im Themenfeld „Von den Sinnen zum Messen“ im Fach Naturwissenschaften 5/6 kennengelernt haben, werden aufgegriffen und vertieft, insbesondere das Beobachten und Beschreiben physikalischer Phänomene, sowie das Erklären dieser Phänomene unter Einbeziehung einfacher Denkmodelle. Außerdem soll in diesem Themenfeld der Umgang mit physikalischen Größen geübt und vertieft werden. In diesem Themenfeld erfahren die Lernenden, dass für die Erklärung thermodynamischer Phänomene Teilchenvorstellungen erforderlich sind. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass bei mündlichen und schriftlichen Beschreibungen und Erklärungen sorgfältig zwischen Modell und Realität unterschieden wird. Die Einführung der physikalischen Größe Dichte kann eingebunden werden, indem beispielsweise die Ausdehnung von Luft bei Temperaturerhöhung untersucht wird.		
	Basisniveau	**Erhöhtes Niveau** (zusätzlich zum Basisniveau)
Inhalte	– Themenbereiche der Physik – Längenänderung fester Körper bei Temperaturänderung (qualitativ) – Volumenänderung von Flüssigkeiten und Gasen bei Temperaturänderung (qualitativ) – Zusammenhang zwischen Masse und Volumen eines Körpers – Dichte als physikalische Größe – Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur eines Gases bei konstantem Volumen – Deutung des Drucks in Gasen mithilfe einfacher Teilchenvorstellungen – Beschreibung der Aggregatzustände im Teilchenmodell	– Längenänderung fester Körper bei Temperaturänderung (quantitativ)
Fachbegriffe	– Temperatur – Temperaturdifferenz – Celsius- und Kelvinskala – Teilchenmodell – Bimetallstreifen – Dichte – Luftdruck – Aggregatzustände – Brownsche Bewegung	

Experimente, Untersuchungen	– Ausdehnung fester Körper, z. B. Metallrohr oder -draht bei Temperaturerhöhung – Ausdehnung von Flüssigkeiten in Abhängigkeit von der Temperaturänderung und vom Stoff – experimentelle Bestimmung der Dichte – Messung des Luftdrucks	
Beiträge zur Kompetenzentwicklung	– erklären die Größe Temperatur und Aggregatszustandsänderungen mithilfe einfacher Teilchenvorstellungen ***(S 1.1, Basiskonzept Modelle und Vorhersagen)*** – stellen Hypothesen zum thermischen Verhalten von Körpern auf ***(E 1.3)*** – bauen einfache Versuchsanordnungen nach Anleitungen auf, führen Experimente zum thermischen Verhalten der Körper durch und protokollieren ihre Beobachtungen ***(S 2.1, Basiskonzept Experimente und Verfahren)*** – werten in Experimenten zum thermischen Verhalten der Körper gewonnene Daten aus, beschreiben Zusammenhänge in der Form „je …., desto … .“ und erklären sie mit dem Teilchenmodell ***(E 3.1, Basiskonzept Modelle und Vorhersagen)*** – veranschaulichen ihre in den Experimenten gewonnenen Daten in ziel-, sach- und adressatengerechten Darstellungsformen ***(K 2.3)***	– berechnen die Längenänderung fester Körper bei Temperaturänderung **(*S 2.4)***[1]
Mögliche Kontexte	– Gefahren durch Längenänderungen an Bauwerken und wie man sie beseitigt – Feuermelder und Sprinkleranlage für den Brandschutz – Mit dem Heißluftballon hoch hinaus – Wettererscheinungen beobachten und beschreiben	

[1] Mathematisches Verfahren: Lösen einer Gleichung; physikalische Frage: Wie groß ist die Längenänderung, wenn sich der Körper um eine gewisse Temperaturdifferenz erhöht?

Tabelle 3: Mögliche Aufteilung der Inhalte bei 8 Pflichtstunden in der Sek I. [**Fett:** verbindliche Experimente; *Kursive:* Zusatz für erhöhtes Niveau].

Themenfeld		Experiment	Alte TF
Jahrgangstufe 7/8	**Mechanik 1 (36 h)** - physikalische Größen: Dichte, Kraft, Masse, - Kräfte und ihre Wirkungen, insbesondere Geschwindigkeitsänderung (Betrag und Richtung) - Masse und Gewichtskraft, auch quantitativ *-Bestimmung der Federkonstanten* (Physik als Naturwissenschaft, Arbeitsweisen, exp. Methode: Kalibrieren, Messwerterfassung, Messunsicherheiten, Arbeit mit Diagrammen, Protokollführung)	**-Dichtebestimmung fester** und flüssiger **Körper** -Wechselwirkungen (auch ohne Berührung) zur Änderung des Bewegungszustandes -plastische und elastische Verformung **-Bestimmung der Gewichtskraft** **-Hooke'sches Gesetz** *-Federkonstante*	TF 3.7 TF 3.8
	E-Lehre 1 (70 h) -physikalische Größen: elektrische Energie, elektrische Ladung, elektrische Leistung, elektrische Spannung, elektrische Stromstärke, elektrischer Widerstand -Wirkungen und Gefahren des elektrischen Stroms -Zusammenhang zwischen elektrischer Spannung und elektrischer Stromstärke, auch quantitative Betrachtungen *-Widerstandsgesetz* (Simulationen, Umgang mit DMM, Modellmethode, Feldbegriff mit Feldlinienmodell, Skizzieren-Zeichnen-Schaltpläne (auch digital) erstellen)	-Nachweis der Ladung von Körpern -Kräfte auf geladene Körper **-Feldlinienbilder** -Licht-, Wärme-, magnetische und chem. Wirkung des Stroms **-Messen von Stromstärke, Spannung** **(digitale Messwerterfassung), Widerstand** **-Zusammenhang zwischen Spannung und Stromstärke** -Gesetze im (un)verzweigten Stromkreis *-Spannungsteiler*	TF 3.5 TF 3.6
	Energie 1 (14) - physikalische Größen: Energie, Arbeit, Leistung - Energieformen: Bewegungsenergie, Lageenergie, elektrische Energie - Energieumwandlung und Energieübertragung	-Zusammenhang Arbeit und Energie -Umwandlung Energie in Arbeit -Umwandlung Arbeit in Energie -Energieumwandlungen -Bestimmung der mechanischen Leistung	TF 3.3

	- Energieerhaltung und Energieentwertung nur qualitativ - Zusammenhang zwischen Energie und Leistung nur qualitativ - nachhaltige Energieversorgung, insbesondere Energiespeicherung (Internetrecherche)		
	Systematisierung und Vernetzung (6 h)		
Jahrgangstufe 7/8	**Mechanik 2 (20 h)** - physikalische Größen: Geschwindigkeit, Ort, Strecke = Weg, Zeit, Beschleunigung - Geschwindigkeit (quantitativ) und Geschwindigkeitsänderungen - Darstellung von Bewegungsabläufen, insbesondere in Diagrammen - Trägheitsprinzip	**-Untersuchung gleichförmiger Bewegungen** -Untersuchung beschleunigter Bewegungen -Kraft ändert Bewegungszustand - F~a, F~m, a~m^{-1} **-Trägheitsgesetz** **-Wechselwirkungsgesetz**	TF 3.7 TF 3.8
	E-Lehre 2 (25 h) -Magnetfelder -elektromagnetische Induktion -Versorgung mit elektrischer Energie	**-Elektromagnet** **-Wechselwirkung Magnet-Eisen/Magnet-Magnet** **-Kraftverteilung am Dauermagneten** -FLB -Kraft auf stromdurchflossene Leiter **-Induktion durch Relativbewegung, Änderung des Flusses** -Induktionsspannung in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Relativbewegung, Windungszahl und Eisenkern -Generator/Motor -Transformator **- Spannungsübersetzung**	TF 3.9
	Energie 2 (20 h) - physikalische Größen: Wirkungsgrad, Temperatur, Wärme - Energieformen: Energie, thermische Energie, Strahlungsenergie - Energieerhaltung und Energieentwertung quantitative Bilanzierung - Zusammenhang zwischen Energie und Leistung, auch quantitative Betrachtungen	**-ϑ(t) beim Erwärmen von Wasser** -ϑ(t) bei Wärmeübertragung zwischen zwei Wassermengen unterschiedlicher Ausgangstemperatur -Arten der Wärmeübertragung **-Wärmeübertragung in Abhängigkeit vom Stoff** -Wärmedämmung	TF 3.4 TF 3.11

	- nachhaltige Energieversorgung, insbesondere Energiespeicherung		
	Ionisierende Strahlung (20 h) - physikalische Größen: Aktivität, Halbwertszeit, Zählrate - Absorption, biologische Wirkung und medizinische Nutzung ionisierender Strahlung - Kernumwandlungen (Spontanzerfall, Kernspaltung, Kernfusion) und Lagerung radioaktiver Abfälle	**-Nullrate** **-Nachweis der Kernstrahlung** - Absorptionsvermögen in Abhängigkeit von Stoff/Dicke **-Eigenschaften ionisierender Strahlung** *-Halbwertszeit* **(teilweise auch als Simulation möglich)**	TF 3.10
	Elektromagn. Strahlung (25 h) - physikalische Größe: Temperatur, Wellenlänge - Licht und Wärmestrahlung: Grenzen der Wahrnehmung durch Lebewesen und Erfassung durch Sensoren - geradlinige Ausbreitung von Licht (Mondphasen, Finsternisse) - elektromagnetisches Spektrum (Mobilfunkstrahlung, Wärmestrahlung, optische Strahlung, Röntgenstrahlung) - Wechselwirkung von Strahlung und Materie (Reflexion, Streuung, Brechung, Absorption, Emission, Transmission) - Klimaphysik, insbesondere Strahlungshaushalt der Erde (Rückstrahlvermögen, mögliche Kippelemente, natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt)	**-Reflexion und Brechung von Licht** -Bestimmung Albedo **-Bestimmung der Solarkonstanten**	TF 3.12 TF 3.13
	Systematisierung und Vernetzung (10 h)		

Abschnitt 3 Offene Perspektiven

Frage 7: Welche Empfehlungen würden Sie für die Entwicklung des neuen Fachteils Physik des Rahmenlehrplans bezogen auf die zunehmende Heterogenität der Lernenden aus fachdidaktischer Sicht geben?

Nach Wodzinski (2016) kann der Umgang mit Heterogenität im Unterricht in vier Bereiche unterteilt werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Unterschiede zu ignorieren, was sicherlich keine Alternative ist. Eine andere Option ist die äußere Differenzierung, bei der die Anpassung der Lernenden an die Unterrichtsanforderungen verbessert wird. Dies kann durch die Zuweisung zu verschiedenen Schultypen oder durch unterschiedliche Kurstypen (Basis- und Erweiterungskurse s.o.) erfolgen. Innere Differenzierung wäre eine dritte Option, die drauf abzielt, den Unterricht besser an die individuellen Unterschiede der Lernenden anzupassen. Dies kann durch die Zuteilung unterschiedlicher Lernaufgaben, die im Schwierigkeitsgrad oder Umfang variieren, an verschiedene Gruppen von Lernenden innerhalb einer Klasse oder durch das Anbieten unterschiedlicher Unterstützungsangebote oder Bearbeitungszeiten erfolgen. Heterogenität kann auch über Individualisierung, also der gezielten Förderung einzelner Lernenden, erreicht werden.

Wie oben geschrieben, ist das Ignorieren keine Option. Zudem soll der neu erstellte Rahmenlehrplan für alle Schularten gelten. Hier könnte eine Unterteilung in Basismodule und Erweiterungsmodule wie oben beschrieben helfen, der Heterogenität zu begegnen. Dabei ist aber unbedingt darauf zu achten, dass alle Lernenden Lerngelegenheiten erhalten, um alle in den Standards beschriebenen Kompetenzen (KMK, 2024) und alle verbindlichen Inhalte (2024) zu erlernen. Das meiste Potential zum unterstützenden Umgang mit Heterogenität bieten die beiden letzten Möglichkeiten, wobei der Übergang zwischen diesen beiden fließend ist.

Nach Scholz (2012) lässt sich die innere Differenzierung über eine differenzierte Aufgabenstellung (z. B. in Bezug auf das Aufgabenniveau, den Inhalt und den Lernzugang), über differenzierte Unterrichtsformen (Frei-, Stationen- oder Projektarbeit, …) und differenzierte Sozialform (Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit) erreichen. Dies sind aber alles Unterrichtsmethoden, die schwer in einem Rahmenlehrplan verankert werden können.

Der Rahmenlehrplan könnte die innere Differenzierung unterstützen, indem in dem Rahmenlehrplan oder in begleitenden Dokumenten konkrete Beispiele und Hilfen für eine innere Differenzierung bzw. Individualisierung den Lehrkräften zur Verfügung gestellt werden könnten. Die

Unterstützungsangebote könnten dabei folgende Aspekte berücksichtigen: Verschiedene lebensweltliche Kontexte inklusive möglicher Experimente in den Kontexten, verschiedene fachspezifische Visualisierungen inklusive Simulationen, differenzierte Aufgabenformate mit unterschiedlichen Offenheitsgraden, sowie die Anwendung von sprachsensiblen Unterrichtsprinzipien, adaptive Unterrichtsstrategien und kooperativen Lernformen in den verschiedenen Kontexten.

Für Rückfragen zu dem Gutachten sowie zum weiteren Austausch und zur Unterstützung bei der Rahmenlehrplanentwicklung stehe ich gern zur Diskussion bereit.

Potsdam, den 31.03.2025

- Prof. Dr. Andreas Borowski -

Literatur

Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Longman.

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and wellbeing. American Psychologist, 55(1), 68-78.

Dejanovikj, J. (2024). Reflexion als Lerngegenstand im Unterricht zur Förderung von Bewertungskompetenz. In M. Hopf & M. Ropohl. Studien zum Physik & Chemielernen Band 381.

Flinn Scientific (2016): Paraffin Paradox - Scientific Method Demonstrations. https://www.flinnsci.com/api/library/Download/e9b7e7044734446e901f1ba5890605cb, Zugriffsdatum: 28.03.2025

Harris, C. J., Krajcik, J. S., Pellegrino, J. W., & McElhaney, K.W. (2016). Constructing assessment tasks that blend disciplinary core Ideas, crosscutting concepts, and science practices for classroom formative applications. Menlo Park, CA: SRI International.

Hellwig, Julia (2013): Messunsicherheiten verstehen: Entwicklung eines normativen Sachstrukturmodells am Beispiel des Unterrichtsfaches Physik. Dissertation. Ruhr-Universität Bochum, Bochum. Fakultät für Physik und Astronomie. https://hss-opus.ub.ruhr-uni-bochum.de/opus4/frontdoor/index/index/docId/1700, Zugriffsdatum: 28.03.2025

Hellwig, Julia (2021): Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht – Ein Rahmenmodell und Vermittlungsansätze, Vortrag in Potsdam.

Hellwig, Julia & Heinicke, Susanne (2020): Unterrichtsansätze und Werkzeuge für die Sekundarstufe I zur Auseinandersetzung mit Mess“fehlern“. In: Unterricht Physik (177|178).

KMK - Beschluss der Kultusministerkonferenz (2024). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2024/2024_06_13-WeBiS_Physik_MSA.pdf
Zugriffsdatum: 28.03.2025

Langlet, J., Eilks, I., Gemballa, S., Heckmann, G., Kunz, A., Lübeck, M., Meisert, A., Menthe, J., Ratzek, J., Wlotzka, P. & Wodzinski, R. (2022). Bewertungskompetenz in den Naturwissenschaften: Denkanstöße, Empfehlungen und Hilfen für den Unterricht und für Aufgaben. MNU Themenreihe Bildungsstandards. Klaus Seeberger.

Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MBJS), 2015: Rahmenlehrplan Physik, Teil C, Jahrgangsstufen 7-10

Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MBJS), 2015: Rahmenlehrplan Nawi, Teil C, Jahrgangsstufe 5/6

Ministerium für Bildung, Jugend und Sport (MBJS), 2023: Rahmenlehrplan Mathematik, Teil C, Jahrgangsstufen 1-10

Scholz, I. (2012). Das heterogene Klassenzimmer. Differen-ziert unterrichten. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Schoßau, Phillip (2023): Fortbildung „Umgang mit Messunsicherheiten im Physikunterricht“ vom 20.09.2023 (Potsdam/online)

Schoßau, Phillip (2024): Illustrierende Lernaufgabe für das Fach Physik: Umgang mit Messunsicherheiten – Einfluss der Treibhausgaskonzentration von CO2 auf die Temperatur in der Atmosphäre. Lernaufgaben Primar- und Sekundarstufen. https://www.iqb.hu-berlin.de/appsrc/taskpool/data/taskpools/getTaskFile?id=p17^Messunsicherheiten^f25946,
Zugriffsdatum: 28.03.2025

Wodzinski, R. (2016): Heterogenität im Physikunterricht - fachdidaktische Herausforderungen. In Plus Lucis 2/2016, S. 2-5.