



Schleswig-Holstein
Ministerium für Bildung,
Wissenschaft und Kultur

Leitfaden zu den Fachanforderungen Physik

Allgemein bildende Schulen

Sekundarstufe I

Sekundarstufe II

2. überarbeitete Auflage

Impressum

Herausgeber: Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur des Landes Schleswig-Holstein
Brunswiker Straße 16 -22, 24105 Kiel

Layout: Stamp Media GmbH, Agentur für Kommunikation & Design, Medienhaus Kiel, Ringstraße 19, 24114 Kiel, www.stamp-media.de
Druck: Schmidt & Klaunig, Druckerei & Verlag seit 1869, Medienhaus Kiel, Ringstraße 19, 24114 Kiel, www.schmidt-klaunig.de
Kiel, Juni 2022, 2. überarbeitete Auflage
Die Landesregierung im Internet: www.schleswig-holstein.de

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der schleswig-holsteinischen Landesregierung herausgegeben.

Bestellungen können unter www.fachanforderungen.de aufgegeben werden.

Sie darf weder von Parteien noch von Personen, die Wahlwerbung oder Wahlhilfe betreiben, im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Leitfaden zu den Fachanforderungen Physik

Allgemein bildende Schulen

Sekundarstufe I

Sekundarstufe II

2. überarbeitete Auflage

Inhalt

I Einleitung	4
II Hinweise zur Kompetenzorientierung	5
1 Kompetenzorientierung im Physikunterricht	5
1.1 Physikalische Kompetenzen im Kontext der Naturwissenschaften	5
1.2 Das Zusammenspiel prozessbezogener und inhaltsbezogener Kompetenzen in der Sekundarstufe I.....	7
1.3 Der Kompetenzbegriff in der Sekundarstufe II	7
2 Entwicklung des Basiskonzepts Energie in der Sekundarstufe I und seine Weiterentwicklung in der Sekundarstufe II	9
2.1 Aspekte des Basiskonzepts Energie.....	9
2.2 Energie im Anfangsunterricht Physik	11
2.3 Weiterentwicklung des Basiskonzepts Energie in der Sekundarstufe I	13
2.4 Das Basiskonzept Erhaltung und Gleichgewicht in der Sekundarstufe II	13
2.5 Förderung der Bewertungskompetenz am Beispiel der Energieversorgung innerhalb des europäischen Verbundsystems	13
3 Die Mechanik als Bindeglied zwischen der Sekundarstufe I und der Sekundarstufe II	15
4 Curricularer Aufbau des Unterrichts zur Quanten- und Atomphysik	18
4.1 Merkmale von Quantenobjekten	18
4.2 Curricularer Aufbau des Unterrichts zur Quanten- und Atomphysik.....	19
4.3 Vertiefungen zur Quantenphysik.....	20
III Hinweise für den Unterricht	22
1 Kontexte für den Physikunterricht	22
2 Die Rolle des Experiments im Physikunterricht	26
2.1 Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht - Immer noch aktuell?.....	26
2.2 Digitale und analoge Messwerterfassung im Physikunterricht	28
2.3 Nutzung einer Tabellenkalkulationssoftware zur Erfassung und Auswertung digitaler und analoger Messwerte ...	32
3 Gestaltung der Mathematisierung im Physikunterricht	34
4 Argumentationsketten, Bewertungsraster für Nutzwertanalysen und Modellbildungskreislauf	37
5 Durchgängige Sprachbildung im Physikunterricht	41
5.1 Methoden zur Unterstützung des Erwerbs der Bildungs- und der Fachsprache	41
5.2 Beispiel zur Sprachförderung	43

6 Digitale Medien im Physikunterricht	48
7 Diagnose und Bewertung im Physikunterricht	50
7.1 Präsentationen.....	50
7.2 Experimentelle Leistungen in Selbst-, Partner- und Lehrerdiagnose.....	51
7.3 Gleichwertige Leistungsnachweise in der Sekundarstufe II	56
7.4 Experimentelle Klausuraufgaben	59
8 Physikunterricht im Spannungsfeld zwischen Vorbereitung auf das Zentralabitur und Berücksichtigung individueller Interessen von Lernenden und Lehrenden	61
9 Möglichkeiten zum Aufbau des Curriculums in der Oberstufe	63
IV Das schulinterne Fachcurriculum	64
1 Reihenfolge, Zeitpunkt und Dauer der Unterrichtseinheiten	65
2 Vereinbarungen zu einzelnen Unterrichtseinheiten	67
3 Fachsprache	72
4 Fördern und Fordern	72
5 Digitale und analoge Medien, Lehr- und Arbeitsmaterialien	73
6 Hilfsmittel	74
7 Leistungsbewertung	74
8 Überprüfung und Entwicklung	76

I Einleitung

Die zum Schuljahr 2016/17 in Kraft getretenen Fachanforderungen Physik gelten für die Sekundarstufe I der Gymnasien und die Sekundarstufe I der Gemeinschaftsschulen, sofern die Fächer Physik, Chemie und Biologie in Einzelfächern unterrichtet werden. Für das Fach Naturwissenschaften gibt es eigene Fachanforderungen.

Die Fachanforderungen für die Sekundarstufe II wurden im Jahr 2022 überarbeitet und an die Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife angepasst, die laut Beschluss der Kultusministerkonferenz (KMK) die bisherigen Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) ab August 2022 ersetzen.

Dieser Leitfaden soll Lehrkräfte und Fachschaften dabei unterstützen, Unterricht auf der Grundlage der Fachanforderungen Physik zu planen und durchzuführen. Dabei werden unter anderem folgende Aspekte thematisiert:

- Kompetenzorientierung im Physikunterricht
- Hinweise zur Unterrichtsgestaltung, unter anderem die Rolle des Experiments und die Nutzung digitaler Medien
- Gestaltung der Mathematisierung
- Umsetzung der durchgängigen Sprachbildung im Physikunterricht
- Diagnose und Bewertung

Die Fachanforderungen verzichten auf kleinschrittige Detailregelungen. Themen und Inhalte sind nicht einzelnen Jahrgangsstufen zugeordnet, weil eine solche Zuordnung neben pädagogischen und didaktischen Abwägungen auch von der Ausgestaltung der Kontingenzstundentafel an der jeweiligen Schule abhängt. Es ist im Rahmen der Eigenverantwortung Aufgabe jeder Schule und somit Teil des schulinternen Fachcurriculums, die zentralen Inhalte und Kompetenzen, die in den Fachanforderungen abschlussbezogen ausgewiesen sind, über die einzelnen Jahrgangsstufen hinweg aufbauend abzubilden (vergleiche Kapitel 4 der Fachanforderungen). Dabei hat die Schule sicherzustellen, dass alle Themen der Fachanforderungen im Unterricht behandelt werden.

Der Leitfaden soll die Fachschaften bei der Erstellung und Fortschreibung des schulinternen Fachcurriculums

unterstützen, indem er konkrete Anregungen für die Umsetzung der Fachanforderungen in der Unterrichtspraxis anbietet. Er enthält daher

- Hinweise zu einer möglichen Strukturierung eines schulinternen Fachcurriculums,
- eine exemplarische Ausgestaltung eines Fachcurriculums anhand einzelner Beispiele.

II Hinweise zur Kompetenzorientierung

1 Kompetenzorientierung im Physikunterricht

1.1 Physikalische Kompetenzen im Kontext der Naturwissenschaften

Die Physik trägt als eine der drei Naturwissenschaften zum Aufbau eines naturwissenschaftlichen Weltbildes der Schülerinnen und Schüler bei. Als exakte Naturwissenschaft kommt ihr dabei eine besondere Bedeutung zu.

Im Unterricht geht es um die Vermittlung einer physikalischen beziehungsweise naturwissenschaftlichen Grundbildung. Naturwissenschaftliche Grundbildung nimmt Einfluss auf das alltägliche Denken und Handeln der jungen Menschen. Sie wird im Wesentlichen durch prozedurale und konzeptionelle Aspekte gekennzeichnet, die durch die folgenden Fähigkeiten bestimmt werden:

- Erkennen von Fragestellungen, die mit naturwissenschaftlichen Zugängen bearbeitet werden können,
- Beschreibung, Vorhersage und Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene,
- Verständnis grundlegender naturwissenschaftlicher Basiskonzepte,
- Vertrautheit mit naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen,
- Verwendung von Fachsprache in der fachlichen Kommunikation und Umgang mit unterschiedlichen Repräsentationen,
- kritische Reflexion der Möglichkeiten und Grenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnis.

In der Sekundarstufe II werden die Kompetenzen, deren Grundlagen in der Sekundarstufe I gelegt wurden, aufgegriffen, vertieft und weiterentwickelt. Dabei steigen Abstraktionsgrad sowie Grad der Mathematisierung und des wissenschaftspropädeutischen Arbeitens.

Die Sachkompetenz wird in der Sekundarstufe II als eigener Kompetenzbereich aufgeführt. In der Sekundarstufe I ist sie im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung enthalten.

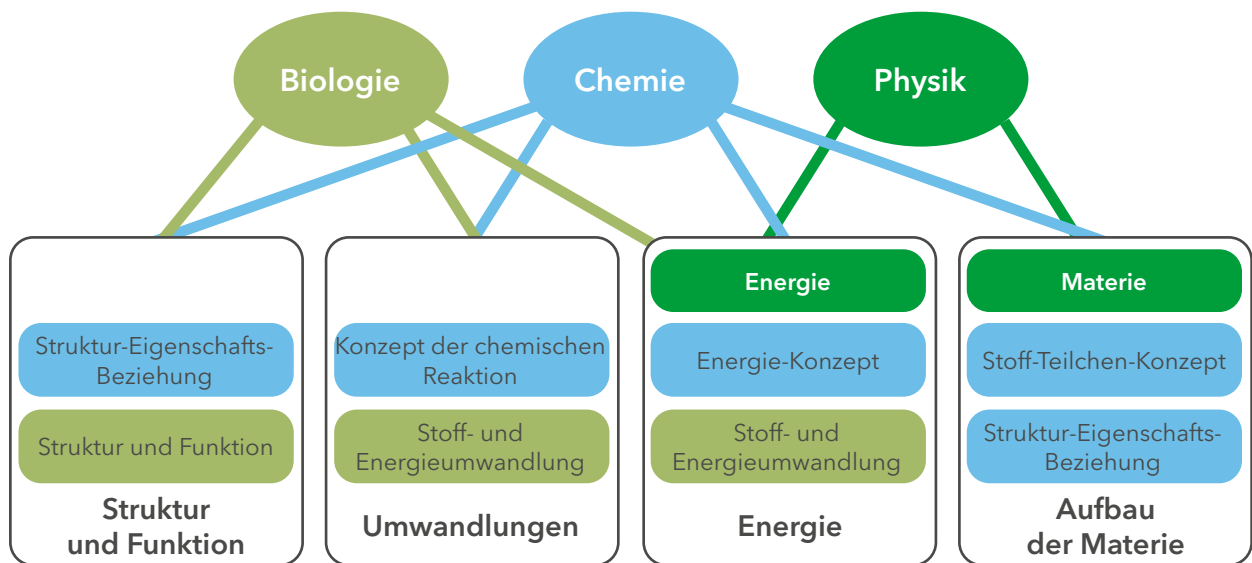
Der Bildungsauftrag der Schule und damit auch des naturwissenschaftlichen Unterrichts beschränkt sich nicht

allein auf die Vermittlung und Nutzung von Wissen in unterrichtlichen Zusammenhängen. Der naturwissenschaftliche Unterricht soll die Schülerinnen und Schüler vor allem dazu befähigen, sich mit gesellschaftlich relevanten Fragen im Sinne der Kernprobleme des gesellschaftlichen Lebens (vergleiche Fachanforderungen Physik, S. 8) auseinanderzusetzen. Im naturwissenschaftlichen Unterricht spielen dabei die „Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen“ und die „Technikfolgenabschätzung“ eine zentrale Rolle. Aber auch Fragen nach dem „Zusammenleben in der einen Welt“, nach „Demokratie“, „Gleichberechtigung“, „Frieden“ und Aspekte einer „nachhaltigen Entwicklung“ müssen berücksichtigt werden (siehe Fachanforderungen, Kapitel 2.2).

Basiskonzepte der Naturwissenschaften in der Sekundarstufe I

Die fachwissenschaftlichen Inhalte werden durch Basiskonzepte vernetzt. Sie dienen dazu, das Verständnis von naturwissenschaftlichen Phänomenen und Zusammenhängen zu erleichtern. Die Basiskonzepte der drei Naturwissenschaften weisen Gemeinsamkeiten auf, sind jedoch in Teilen aufgrund der Fachsystematik in den Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss unterschiedlich ausgestaltet. Die konzeptionellen Gemeinsamkeiten zwischen den Basiskonzepten der drei Naturwissenschaften werden in der folgenden Abbildung aufgezeigt. Sie unterstützen die Schülerinnen und Schüler beim Aufbau und bei der Vernetzung ihres Fachwissens.

In den Fachanforderungen wird ein Kompetenzbegriff verwendet, der das Wissen und Können sowie die Fähigkeiten und Fertigkeiten eines Menschen umfasst. Das schließt die Bereitschaft ein, das Wissen und Können in unterschiedlichen Situationen zur Bewältigung von Herausforderungen und zum Lösen von Problemen anzuwenden. In Anlehnung an die Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz für den mittleren Bildungsabschluss erfolgt die fachliche Ausprägung des Kompetenzbegriffs im Fach Physik durch Unterteilung in die prozessbezogenen Kompetenzen zur Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung (Kapitel 2.1 der Fachanforderungen) sowie die inhaltsbezogenen Kompetenzen zum Umgang mit Fachwissen (Kapitel 2.2 der Fachanforderungen).



*Grafische Darstellung der Vernetzung der Basiskonzepte der Fächer Biologie, Chemie und Physik
(Fachspezifische Basiskonzepte sind in dem Diagramm nicht vollständig enthalten.)*

Schülerinnen und Schüler besitzen physikalische Fachkompetenz, wenn sie zur Bewältigung von Anforderungssituationen

- auf vorhandenes Wissen zurückgreifen oder sich benötigtes Wissen beschaffen,
- die zentralen Zusammenhänge des Lerngebietes erkennen und verstanden haben,
- angemessene Lösungswege wählen,
- Lösungswege kreativ erproben,
- bei ihren Handlungen auf verfügbare Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten zurückgreifen und
- das Ergebnis ihres Handelns an angemessenen Kriterien überprüfen.

Naturwissenschaftlicher Unterricht, der an den Bildungsstandards orientiert ist und damit die Kompetenzen, die die Schülerinnen und Schüler erwerben sollen, in den Mittelpunkt stellt, orientiert sich an drei didaktischen Fragen (vgl. Ziener, 2001):

1. Welche Kompetenzen sollen die Schülerinnen und Schüler in den prozessbezogenen Kompetenzbereichen nach der Unterrichtseinheit erworben beziehungsweise weiterentwickelt haben?
2. Welche Inhalte sind geeignet beziehungsweise notwendig um Kompetenzen zu erwerben?

3. Welche Lernprozesse müssen mit den gewählten Inhalten verknüpft werden, um einen möglichst effizienten und nachhaltigen Kompetenzerwerb zu erreichen? Gibt es geeignete schülerorientierte Kontexte?

Als Basiswerkzeuge der naturwissenschaftlichen Selbst- und Welterschließung dienen im Unterricht die verschiedenen Erkenntnisverfahren der Naturwissenschaften (Bund-Länder-Kommission-Projektgruppe, 1997):

- distanzierteres Beobachten und Analysieren auf der Basis verschiedener Theorien
- Experimentieren
- spezifische Modellbildung und Modelldenken
- Vergleichen und Systematisieren auf der Basis wissenschaftlicher Kriterien

Ein kompetenzorientierter Unterricht berücksichtigt eine Vielzahl verschiedener Unterrichtsformen. Dabei ist auf eine Passung zwischen der angestrebten Kompetenzentwicklung und der geplanten Unterrichtsform zu achten. Informationen finden sich in der IQSH-Broschüre „Methoden im Unterricht – Anregungen für Schule und Lehrerbildung“ (2011).

Neues Wissen wird in der Regel in einer konkreten Situation erworben und verknüpft neue Erfahrungen oder Erkenntnisse mit vorhandenen Wissensstrukturen. Lernprozesse sind daher umso erfolgreicher, je lernanregender eine Situation gestaltet ist. Zentrale Fragen für die Planung sind daher unter anderem die Distanz zwischen Vorwissen, Überzeugungen und Fähigkeiten der Lernenden und den zu erreichenden Zielen, die Möglichkeit der Konfrontation oder Vernetzung des neuen und vorhandenen Wissens sowie die Nähe der Lernsituation zu einer späteren Anwendungssituation. Diese Grundannahmen liegen dem sogenannten kontextbasierten Lernen zugrunde.

Ein Kontext stellt hier eine Rahmung für fachliche Lernziele dar. Diese kann eng gefasst eine konkrete Fragestellung oder ein Phänomen sein (zum Beispiel vermittelt über eine Zeitungsmeldung), oder auch eine umfassendere Thematik, die zur Erarbeitung komplexerer Zusammenhänge führt (zum Beispiel die gesellschaftliche Frage nach der Energieversorgung). Idealerweise sollen Kontexte so gewählt werden, dass sie Lernende zum Nachdenken und Weiterentwickeln ihres Wissens beziehungsweise ihrer Überzeugungen und Fertigkeiten anregen. Die für die Rahmung eines Fachinhalts genutzten Kontexte erfüllen diese Anforderung nicht immer. Hier gilt es, Alternativen zu erproben oder aber methodisch und über Aktivitäten Interesse zu wecken.

Für einen späteren Transfer und eine Abstraktion des Wissens ist das systematische Lernen unerlässlich. Situationsbezogene Lernphasen durch geeignete Kontexte bereiten systematische Phasen vor. Diese Phasen fördern intensiv die situativen Auseinandersetzungen.

„Eine Balance zwischen enggeführtem, systematischem Lernen in definierten Wissensdomänen und situationsbezogenem Lernen im praktischen Umgang mit lebensweltlichen Problemen zu finden ist konstitutiv für die Schule. Wie die Gewichte zu verteilen sind, darüber kann man im Einzelnen streiten. Ihre Verteilung wird vom Alter und Vorwissen der Schüler, von den Schulformen, aber auch von situativen Bedingungen in der einzelnen Schule abhängig sein.“
(Bund-Länder-Kommission-Projektgruppe, 1997)

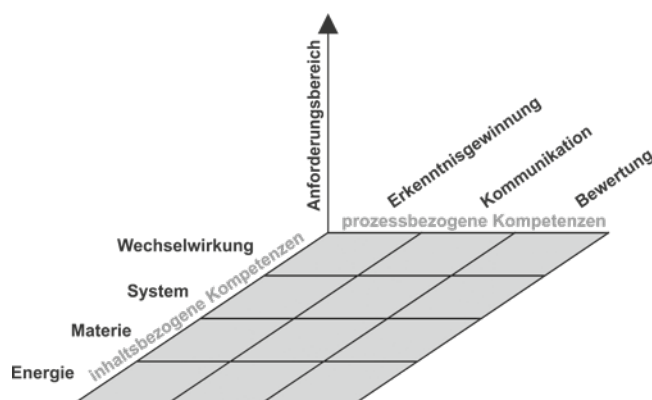
1.2 Das Zusammenspiel prozessbezogener und inhaltsbezogener Kompetenzen in der Sekundarstufe I

Die folgende Grafik veranschaulicht, dass die prozessbezogenen Kompetenzbereiche mit den Basiskonzepten beziehungsweise den inhaltsbezogenen Kompetenzen zu verknüpfen sind, um naturwissenschaftliche Kompetenz aufzubauen. Das Zusammenwirken prozessbezogener und inhaltsbezogener Kompetenzen ist bei der Erstellung des schulinternen Fachcurriculums auszugestalten und bei der Konzipierung des Unterrichts von zentraler Bedeutung.

Naturwissenschaftliche Kompetenz setzt Fachwissen voraus. Die kompetente Bearbeitung von Fragestellungen im Fach Physik erfordert den Umgang mit diesem Fachwissen über die prozessbezogenen Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung.

Schülerinnen und Schüler eignen sich Fachwissen zu ihren Fragestellungen an, indem sie Texte lesen, Experimente durchführen und auswerten (Erkenntnisgewinnung), darüber kommunizieren und Sachverhalte begründet bewerten.

Sekundarstufe I:



Vernetzung der inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen in der Sekundarstufe I (eigene Darstellung)

1.3 Der Kompetenzbegriff in der Sekundarstufe II

In den Bildungsstandards für die Sekundarstufe II wird insofern von einem geänderten Kompetenzbegriff ausgegangen, als dass Fachwissen nicht mehr als eigenständiger Kompetenzbereich aufgeführt wird. Daher wird nicht mehr zwischen inhaltsbezogenen und prozessbezogenen Kompetenzen unterschieden, sondern es werden vier Kompetenzbereiche definiert, die jeweils bereichsspezifisches Fachwissen erfordern: Sachkompetenz, Erkenntnisgewinnungskompetenz, Kommunikationskompetenz und Bewertungskompetenz. Diese vier Kompetenzbereiche bilden gemeinsam die Fachkompetenz.

Die Basiskonzepte Erhaltung und Gleichgewicht, Superposition und Komponenten, Mathematisieren und Vorhersagen sowie Zufall und Determiniertheit beschreiben fachspezifische Gemeinsamkeiten und unterstützen die Vernetzung fachlicher Inhalte.

Die fachlichen Inhalte der Oberstufe umfassen die Mechanik, elektrische und magnetische Felder, mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen sowie Quantenmechanik und Materie.

Literatur:

Bund-Länder-Kommission-Projektgruppe (1997): Gutachten zur Vorbereitung des Programms „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“. In: Materialien zur Bildungsplanung und Forschungsförderung. Heft 60. Bonn. www.blk-bonn.de/papers/Heft60, abgerufen am 28.06.2022.

Institut für Qualitätsentwicklung an Schulen Schleswig-Holstein (IQSH, 2011): Methoden im Unterricht - Anregungen für Schule und Lehrerbildung. Kronshagen.

Ziener, G. (2001): Bildungsstandards in der Praxis - Kompetenzorientiert unterrichten. Stuttgart.

2 Entwicklung des Basiskonzepts Energie in der Sekundarstufe I und seine Weiterentwicklung in der Sekundarstufe II

Energie verknüpft als Basiskonzept alle Teilbereiche der Physik – von der Mechanik über die Elektrizitäts- und Wärmelehre bis hin zur Optik – und darüber hinaus alle Naturwissenschaften miteinander. Durch Energiebetrachtungen können Phänomene und Vorgänge qualitativ und quantitativ beschrieben werden, zum Beispiel wie viel elektrische Energie nötig ist, um eine Tasse Wasser zum Kochen zu bringen.

Im Folgenden werden Gründe angeführt, die für eine möglichst frühe systematische Behandlung des Energiebegriffs im Anfangsunterricht sprechen, wie sie die

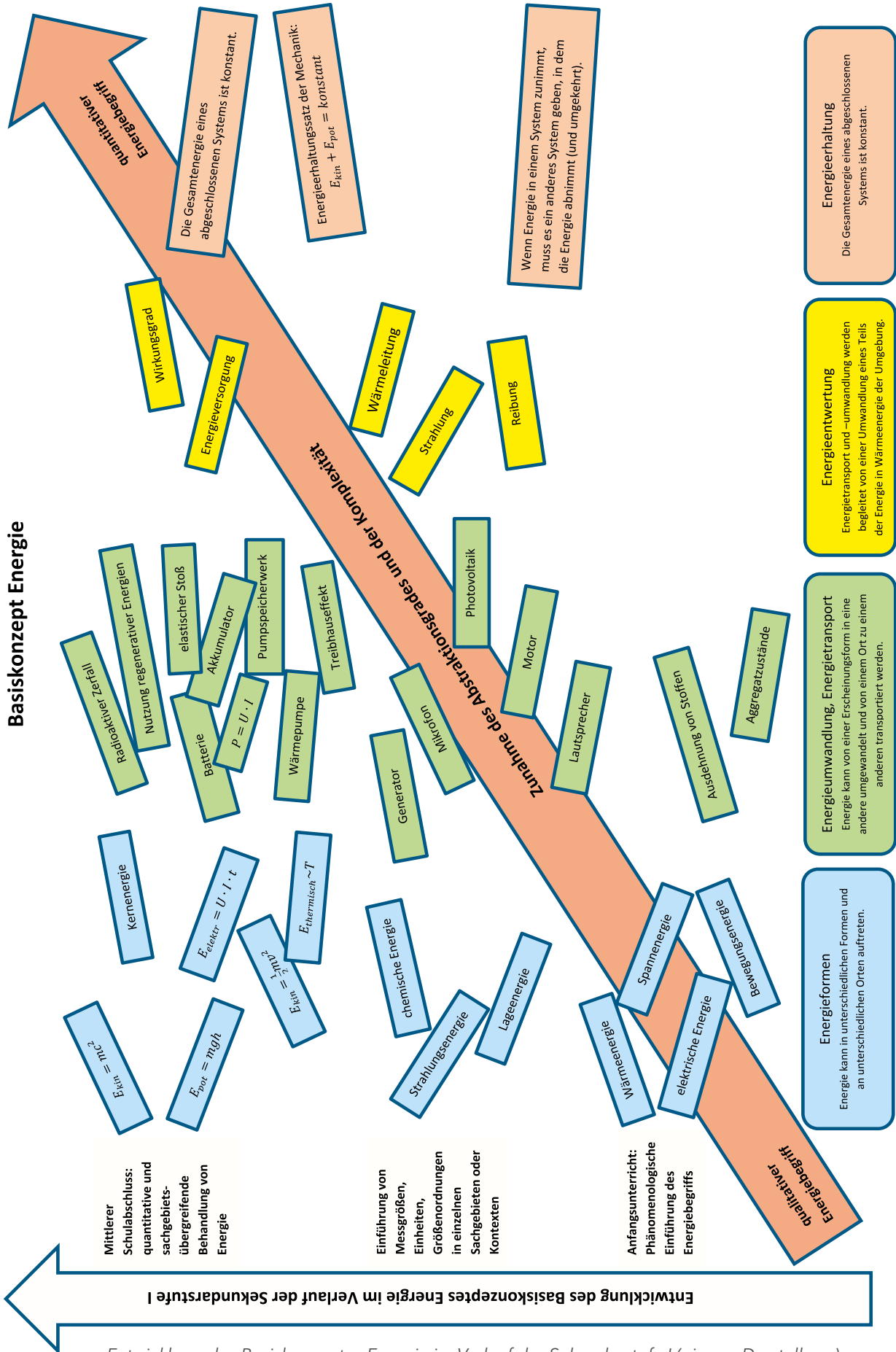
Fachanforderungen Physik empfehlen, sowie mögliche Unterrichtskonzepte hierfür skizziert. Vorab wird das Basiskonzept Energie mit den zugehörigen Einzelaspekten beschrieben.

2.1 Aspekte des Basiskonzepts Energie

Untersuchungen legen nahe, dass Schülerinnen und Schüler zunächst ein qualitatives Verständnis von Energieformen entwickeln, bevor sie über Umwandlung und Transport am Ende der Sekundarstufe I ein quantitatives Verständnis von Energie und damit Energieentwertung beziehungsweise Energieerhaltung entwickeln. Damit ergeben sich die folgenden Aspekte des Basiskonzepts Energie (Duit, 2007):

Aspekte des Basiskonzepts Energie	
Energieformen	Energie kann in unterschiedlichen Formen und an unterschiedlichen Orten auftreten.
Energieumwandlung, Energietransport	Energie kann von einer Erscheinungsform in eine andere umgewandelt und von einem Ort zu einem anderen transportiert werden.
Energieentwertung	Energietransport und -umwandlung werden begleitet von einer Umwandlung eines Teils der Energie in Wärmeenergie der Umgebung.
Energieerhaltung	Die Gesamtenergie eines abgeschlossenen Systems ist konstant.

Diese einzelnen Aspekte werden von den Schülerinnen und Schülern aufeinander aufbauend entwickelt, ein vollständiges Verständnis der Energieerhaltung wird von den Fachanforderungen Physik bis zum Ende der Sekundarstufe I gefordert. Dies kann neueren Untersuchungen (Nagy und Neumann, 2013) zufolge gelingen, indem die Schülerinnen und Schüler im Laufe der Sekundarstufe I zunehmend Wissen aus einzelnen Teilgebieten der Physik und Naturwissenschaften in ihr vorhandenes Wissensnetz zum Basiskonzept Energie integrieren. Einen Überblick hierüber gibt folgende Abbildung.



Entwicklung des Basiskonzeptes Energie im Verlauf der Sekundarstufe I (eigene Darstellung)

2.2 Energie im Anfangsunterricht Physik

Im Anfangsunterricht ist es empfehlenswert, eine kurze Einheit (wenige Stunden) zu den Grundbegriffen der Energie (Formen, Umwandlung, Energieketten) einzuplanen. Dabei geht es nicht darum, den Energiebegriff präzise zu definieren oder zu quantifizieren. Vielmehr steht die strukturierte Einführung und Vernetzung von Energieformen im Zentrum der ersten Stunden. Dieses frühe Auseinandersetzen mit Energie ermöglicht den Schülerinnen und Schülern, einen umfassenden Überblick über die unterschiedlichen Themengebiete des Physikunterrichts zu erhalten. Weiterhin bietet es eine Basis, die sonst teils einzeln nacheinander behandelten Themen zu verknüpfen und damit eine systematische Wissensbasis anzulegen, auf der zukünftig zu erwerbendes Detailwissen der einzelnen Themen aufgebaut werden kann. Darauf aufbauend tragen die Themen des ersten Blocks (siehe Fachanforderungen Physik, 2022, S. 35) zu einem vernetzten qualitativen Verständnis des Energiekonzepts im Laufe der ersten Hälfte der Sekundarstufe I bei.

Im Vordergrund steht im Anfangsunterricht Physik eine phänomenologische Einführung des Energiebegriffs, insbesondere die Einführung der Energieformen (zum Beispiel in Natur und Technik oder anhand von Spielzeug). Üblicherweise wird hierfür zunächst die Bewegung von Körpern als ein Zeichen für das Vorhandensein von Energie gewertet, um dann auf der Suche nach der Quelle für diese Bewegungsenergie weitere Formen der Energie zu finden. Bei der Untersuchung von Menschen, Tieren und Pflanzen finden sich dabei beispielsweise Strahlungsenergie (Sonne) und chemische Energie (Nahrungsmittel). Bei der Untersuchung von mitgebrachtem Spielzeug oder technischen Geräten finden die Schülerinnen und Schüler auch elektrische Energiequellen (Batterie, Akku, Generator, ...). Die Identifikation von Höhenenergie (Gravitationsenergie) ist dagegen etwas abstrakter, da die Veränderung der in einem Körper gespeicherten Energie durch Hochheben bereits grundlegende Vorstellungen über Bewegungsenergie und ihre Umformung erfordert.

Ein Konzept für etwa drei bis vier Einzelstunden zum Thema Energie kann im Anfangsunterricht wie folgt aussehen:

Aspekt	Unterrichtsgestaltung
Einführung des Energiebegriffs: Bewegungsenergie	Bewegung als ein Indiz für das Vorliegen von Energie: Die Schülerinnen und Schüler suchen in Experimenten, bei denen sich etwas bewegt, nach der Energiequelle und notieren kleine Steckbriefe zu beteiligten Energieformen.
weitere Energieformen	Sämtliche von den Schülerinnen und Schülern gefundenen Energiequellen werden sortiert und in Energieformen klassifiziert. Zu jeder Form wird ein Beispiel notiert: - Bewegungsenergie: fahrendes Auto - Spannenergie: Aufziehhauto, bevor es losgelassen wird - elektrische Energie: Computer - ...
Energieketten	Zu Vorgängen in Natur und Technik erstellen die Schülerinnen und Schüler Diagramme mit Energieketten (siehe Beispiel im Test zur Energie).
Energieumwandlungen, Energietransport	Die vorherige Suche nach Energiequellen wird nun umgekehrt: Die Schülerinnen und Schüler beschreiben in Beispielen, dass Energie nicht verlorengelassen, sondern immer umgewandelt beziehungsweise in ein anderes System transportiert wird. Dabei wird auf eine Quantifizierung noch verzichtet, halbquantitative Aussagen sind möglich. Hier bietet sich ein Übergang in weitere Themengebiete des Blocks I an (insbesondere Wärme, einfache elektrische Stromkreise).

Beispiel für einen Kurztest

Test - Energie im Anfangsunterricht

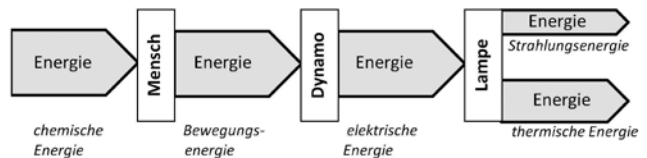
Name: _____

1. Im Bild sind Beispiele für verschiedene Energieformen dargestellt. Finde zu jeder Energieform noch zwei weitere Beispiele:



- 1. Bewegungsenergie: _____
- 2. chemische Energie: _____
- 3. Strahlungsenergie: _____
- 4. thermische Energie: _____
- 5. Spannenergie: _____
- 6. elektrische Energie: _____
- 7. Höhenenergie: _____

2. Beschreibe die abgebildete Energiekette in deinen eigenen Worten.



3. Ob das Auto den Looping schafft? Begründe deine Antwort. Verwende dabei die Begriffe Bewegungsenergie und Höhenenergie.



2.3 Weiterentwicklung des Basiskonzepts Energie in der Sekundarstufe I

Im Verlauf der Sekundarstufe I gewinnt die quantitative Analyse der Energie zunehmend an Bedeutung. Ein Unterrichtskonzept, das den Zugang über halbquantitative Experimente zur Bewegungsenergie wählt, wird in dem Artikel „Neue Wege zur Energie“ beschrieben; die Materialien hierzu befinden sich im Fachportal Physik des IQSH (<https://fachportal.lernnetz.de/sh/faecher/physik/materialien-und-links.html>, abgerufen am 28.06.2022). Wenn die Formeln zur Energie dabei über Höhenenergie eingeführt werden sollen, ist eine vorherige qualitative Beschreibung anderer Energieformen aus oben genannten Gründen ratsam.

Sind die Formeln für einzelne Energieformen bekannt, wird die Energie in zahlreichen Experimenten und Vorgängen quantitativ bestimmt und vor und nach der Umwandlung verglichen. Beispielsweise wird beim Erwärmen von Wasser die elektrische Energie gemessen und über die Temperaturmessung zur Wärmeenergie in Bezug gesetzt. Bei Fallbewegungen wird die Lageenergie zu Beginn mit der Bewegungsenergie am Ende verglichen; auch über Messungen auf Zwischenpunkten und Abschätzungen von Wärmeumwandlungen wird das Vertrauen in die Erhaltung der Gesamtenergie langsam gefestigt. Überlegungen zur Bilanzierung und zum Wirkungsgrad schließen sich an. Am Ende der Sekundarstufe I ist der Energieerhaltungssatz als übergeordnetes Prinzip bekannt und kann von den Schülerinnen und Schülern genutzt werden.

2.4 Das Basiskonzept Erhaltung und Gleichgewicht in der Sekundarstufe II

Zu Beginn der Oberstufe steht der Energieerhaltungssatz bereits zur Verfügung. Er kann zunehmend genutzt werden, zum Beispiel in der Unterrichtseinheit zur Mechanik bei der Beschreibung von Fallbewegungen, um ergänzend zu den Weg-Zeit-Gesetzen Endgeschwindigkeiten im freien Fall zu bestimmen.

Der Unterricht zum Energiebegriff in der Oberstufe ist darüber hinaus durch eine Vertiefung des Energie-

verständnisses im Rahmen der Inhaltsbereiche Felder, Schwingungen und Wellen und Quantenphysik geprägt. So werden beispielsweise Formeln für die Energie im Gravitationsfeld und elektrischen Feld mit den dann zur Verfügung stehenden Methoden der Integralrechnung bestimmt oder die Energieniveaus im Atom als Energieniveauschema beschrieben.

Literatur

Duit, R. (2007): Energie: Ein zentraler Begriff der Naturwissenschaften und des naturwissenschaftlichen Unterrichts. In: Unterricht Physik, Ausgabe 101, 4-7.

Hadinek, D., Wessnig, S., & Neumann, K. (2016): Neue Wege zur Energie. In: MNU Journal, Ausgabe 5, 292 - 299.

Nagy, G., & Neumann, K. (2013): How middle school students learn about energy. Paper presented at the Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Puerto Rico, USA.

2.5 Förderung der Bewertungskompetenz am Beispiel der Energieversorgung innerhalb des europäischen Verbundsystems

Das Kapitel „Herausforderungen der Energieversorgung“ in den Fachanforderungen eignet sich in besonderer Weise, um das Basiskonzept Energie in der Sekundarstufe I abschließend zu vernetzen und zu vertiefen. Hierbei werden die Aspekte Energieerzeugung und Energieerhaltung auch quantitativ und experimentell analysiert.

Dabei ist ein Blick auf aktuelle politische Themen in Deutschland, Europa und weltweit sinnvoll, um allen Schülerinnen und Schülern eine Teilhabe am gesellschaftlichen Leben und politischen Diskussionen zu ermöglichen. Themen wie Klimawandel und Energiewende in der Europapolitik bieten sich hierbei an. Dieser Artikel stellt zwei zeitgemäße Möglichkeiten vor, die Netzstruktur der Energieversorgung physikalisch (experimentell und theoretisch) und politisch im Physikunterricht zu behandeln: ein Planspiel (Sekundarstufe I oder II) sowie eine Lernaufgabe (Sekundarstufe II).

Planspiel „Neue Netze für den Norden?“

Politik ist Verhandlungssache: Wer bekommt was? Und wer bestimmt das? Wer setzt sich wem gegenüber durch? Es gilt im politischen Tagesgeschäft, widerstreitende Interessen zu vereinen und Entscheidungen über die Verteilung von Geld, Macht, Sicherheit, Autonomie und so weiter zu treffen. Eine spielerische Variante, die politischen Dynamiken zu verstehen, ist, diese zu simulieren. Dabei übernehmen die Teilnehmenden die Rolle von Politikerinnen und Politikern oder auch anderen in der Politik relevanten Akteuren wie der Presse oder Lobbyistinnen und Lobbyisten und müssen deren Interessen überzeugend vertreten.

Das Planspiel „Neue Netze für den Norden?“ spielt im Südwesten Schleswig-Holsteins. Konfliktgegenstand ist der geplante Neubau einer (fiktiven) 380-kV-Höchstspannungsfreileitung, die von Heide im Norden bis nach Norderstedt im Süden durch mehrere Kreise Schleswig-Holsteins verlaufen und im Rahmen des nationalen Netzausbaus dazu dienen soll, die allgemeine Netzstabilität zu erhöhen und grünen Strom aus dem Norden Deutschlands in den Süden der Republik zu transportieren. Die Pläne der Landesregierung stoßen allerdings in Teilen der Bevölkerung auf Widerstand. Einige Interessengruppen haben sich explizit gegen das Projekt positioniert. Auf der anderen Seite gibt es Befürworterinnen und Befürworter der neuen Stromtrasse, die den wirtschaftlichen Nutzen für die Region betonen.

Das Planspiel wurde von der planpolitik GbR für die Deutsche Gesellschaft e. V. entwickelt und im August 2018 fertiggestellt und ist für den Einsatz in den Jahrgangsstufen 10 bis 13 geeignet. Sämtliche Materialien und didaktische Hinweise sind im Fachportal Physik unter Materialien und Links hinterlegt (<https://fachportal.lernnetz.de/sh/faecher/physik/materialien-und-links.html>, abgerufen am 28.06.2022). Dieses Planspiel kann im Physikunterricht sinnvoll durch klassische Experimente zur Hochspan-

nungsübertragung ergänzt werden. Es kann entweder von allen Schülerinnen und Schülern zeitgleich behandelt werden oder aber binnendifferenzierend von einem Teil der Lerngruppe, während der andere Teil sich beispielsweise auf Abschlussprüfungen (Mittlerer Schulabschluss) vorbereitet, mit der Lernaufgabe (siehe unten) oder anderen vertiefenden physikalischen Inhalten auseinandersetzt.

Lernaufgabe „Hochspannungsleitungen -Monstertrasen? Bewertung von Technologien zum Transport elektrischer Energie“

In der Sekundarstufe II ist der Inhaltsbereich „Elektrische und magnetische Felder“ geeignet, um die Energiewende multiperspektivisch aus physikalischer, technischer, ökonomischer und ökologischer Sicht zu behandeln. Hierbei können im Nicht-Profilfach Schwerpunkte gesetzt werden, die dem gewählten Profil oder den Interessen der Schülerinnen und Schüler entsprechen. Vom Institut für Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB) wurde eine Lernaufgabe entwickelt, in der auf Grundlage einer umfangreicheren Recherche beziehungsweise Auswertung von Textquellen unterschiedlicher Güte kriteriengeleitet eine reflektierte und rationale Bewertung unterschiedlicher Technologien für den Bau von Hochspannungsleitungen (Freileitung/Erdverkabelung und Gleichstrom-/Wechselstromübertragung) durchgeführt wird. Ein weiterer Schwerpunkt kann auf die Beurteilung der Güte und Glaubwürdigkeit von Quellen, insbesondere im Internet, gelegt werden. Die Lernaufgabe ist überwiegend zum selbstständigen Lernen geeignet, sollte jedoch sinnvoll durch Experimente zu elektrischen Feldern und Hochspannungsübertragung ergänzt werden. Sämtliche Materialien sowie Hinweise zum Unterrichtseinsatz (insbesondere zur Reduzierung des Rechercheaufwands) sind auf den Seiten des IQB zur Verfügung gestellt (www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi_allg/physik/, abgerufen am 28.02.2022).

3 Die Mechanik als Bindeglied zwischen der Sekundarstufe I und der Sekundarstufe II

In den Fachanforderungen Physik (2022, S. 63) ist festgelegt, dass das Thema Dynamik (inklusive Kinematik) innerhalb der Einführungsphase unterrichtet werden soll. Insgesamt sollte höchstens die Hälfte der in der Einführungsphase zur Verfügung stehenden Lernzeit für den Unterricht zur Mechanik genutzt werden. Damit wird der größte Teil der für den Oberstufenunterricht benötigten Beschreibungen von Bewegungen innerhalb der Einführungsphase erarbeitet, wobei Kreisbewegungen und Wellen zu einem späteren Zeitpunkt thematisiert werden können.

Lerngruppen, die aufgrund ihrer Fächerwahl nur in der Einführungsphase Physikunterricht erhalten, sollte unbedingt ein Einblick in weitere physikalische Themen ermöglicht werden. Dies kann beispielsweise über Schwerpunktthemen wie Felder, Biophysik, Astrophysik oder Atomphysik stattfinden, wobei die Mechanik dort auch integriert werden kann. Hierbei ist es möglich, den Unterricht in Mechanik sowohl zeitlich als auch inhaltlich auf das für die gewählten Schwerpunkte absolut Notwendige zu beschränken. Es ist letztendlich eine Frage der Kreativität der Lehrerin oder des Lehrers, die Schülerinnen und Schüler mit einer positiven und neugierigen Sicht auf das Fach Physik aus dem schulischen Physikunterricht zu entlassen.

Bei durchgängigem Physikunterricht in der Sekundarstufe II werden die in den Fachanforderungen genannten Basiskonzepte schon in der Einführungsphase im Zusammenhang der Mechanik thematisiert, um dann im weiteren Verlauf der Oberstufe in anderen Themenbereichen vertieft zu werden:

- *Erhaltung und Gleichgewicht*: Energie- und Impulserhaltungssatz, Kräftegleichgewichte
- *Superposition und Komponenten*: Überlagerung von Bewegungen (beispielsweise beim waagerechten Wurf)
- *Mathematisieren und Vorhersagen*: Die in den Fachanforderungen geforderte zunehmende Mathematisierung ermöglicht im Mechanikunterricht der Einführungsphase genauere Berechnungen, beispielsweise zu Fallzeiten,

Geschwindigkeiten nach Brems- oder Beschleunigungsvorgängen und Kraft- und Impulsbetrachtungen. Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass sich zuverlässige Vorhersagen über das Verhalten eines Körpers auf mathematischem Wege ermitteln lassen. Weiterhin lernen sie, dass über das Verknüpfen von verschiedenen physikalischen Zusammenhängen in Form von Kombinationen unterschiedlicher Formeln neue Aussagen getroffen werden können (beispielsweise bei Wurfbewegungen). Sollte parallel zum Physikunterricht im Mathematikunterricht der Einführungsphase Differenzialrechnung unterrichtet werden, bietet sich an, die mathematischen Betrachtungen in den Physikunterricht einfließen zu lassen und umgekehrt. Ein Beispiel hierzu wäre die Geschwindigkeit als Steigung des Graphen im t-s-Diagramm und damit als Ableitung der Ortsfunktion oder die Kraft als Steigung des Graphen im t-p-Diagramm und damit als Ableitung der Impulsfunktion.

- *Zufall und Determiniertheit*: Die Schülerinnen und Schüler lernen im Unterricht die Mechanik in erster Linie von ihrer deterministischen Seite kennen. Zufällige Einflüsse lassen sich beispielsweise bei experimentellen Messwerten feststellen. Dabei werden Abweichungen vom erwarteten Wert mithilfe von Fehlerbetrachtungen erklärt, und es wird die Güte einer Messung beurteilt.

Dynamik als Schwerpunkt

Mechanik dient als Bindeglied zwischen der Sekundarstufe I und Sekundarstufe II. In der Sekundarstufe I werden die Begriffe Strecke, Zeit und Geschwindigkeit eingeführt und zueinander in Beziehung gesetzt. Die Begriffe Beschleunigung und Kraft werden zumindest qualitativ zur Beschreibung verwendet. Grafische und andere Darstellungen dienen neben mathematischen Aussagen der Analyse der zu beschreibenden Situationen. Dabei ergibt sich, dass durch die Einbindung in Kontexte viele der im Unterricht präsenten Alltagssituationen eher einen dynamischen als einen rein kinematischen Charakter haben. In der Sekundarstufe II werden die Inhalte des Unterrichts in Mechanik aufgegriffen und hinsichtlich formaler Zusammenhänge vertieft und ausgebaut, um dann für die weiteren Unterrichtsinhalte der folgenden Jahrgangsstufen zur Verfügung zu stehen. Beispielsweise

tauchen im Bereich der elektrischen Ladungen und Felder wie auch im Bereich der Quantenphysik mechanische Zusammenhänge wieder auf. Für das Verständnis und die Vorbereitung der Inhalte der in den Fachanforderungen definierten Inhaltsbereiche werden in erster Linie die dynamischen Konzepte der Mechanik benötigt. Deswegen wird der Schwerpunkt auf die Dynamik gelegt. Die in der Mechanik zu unterrichtenden Arbeitsweisen wie beispielsweise das Interpretieren von Graphen, das grafische Differenzieren zur Erstellung weiterer Diagramme, die Analyse von Messwerten mithilfe von Tabellen und Graphen und der Wechsel der Darstellungsformen wird in erster Linie mit dynamischen Konzepten verbunden. Die Kinematik wird dabei zugunsten der Dynamik deutlich in ihrem Anteil an den Unterrichtsinhalten reduziert.

Leisen (2005) schreibt hierzu: „Wer das Verstehen von Begriffen zum Thema Bewegung angeht, muss von Anfang an die Begriffe der Kinematik und der Dynamik gleichzeitig mit im Blick und im Klassenraum haben.“ (Leisen, 2005). Er weist darauf hin, den didaktischen Ansatz auf die zentralen Begriffe der Mechanik hin auszurichten und das Thema Bewegung nicht ausschließlich unter kinematischen Gesichtspunkten zu betrachten. Die dynamischen Aspekte der Bewegungen sollten einbezogen werden, weil sie in den Schülervorstellungen präsent sind.

Ein Beispiel für den Schwerpunkt Dynamik in der Mechanik

Fallbewegungen werden von Beginn an mit energetischen und dynamischen Konzepten beschrieben. Für die Schülerinnen und Schüler ist die Nutzung des aus der Sekundarstufe I schon bekannten Energieerhaltungssatzes unmittelbar naheliegend. Im Rahmen der Untersuchung von Fallbewegungen wird der Einfluss der Gravitation, aber auch die Abhängigkeit von Reibungskräften thematisiert. Dies ermöglicht die Bearbeitung von Kontexten (beispielsweise Fallschirmsprung, Bungeesprung). Der freie Fall stellt eine Idealisierung des realen Falls unter bestimmten Bedingungen dar. Die Betrachtungen werden auch mit Mitteln der Differenzial- und Integralrechnung

durchgeführt (zunächst grafisch, dann rechnerisch), die Schülerinnen und Schüler interpretieren Graphen zum Fallschirmsprung, identifizieren den Zeitpunkt der Öffnung des Fallschirms, beschreiben und begründen die weitere Fallkurve und vergleichen diese mit einem Fall im Vakuum. Parameteränderungen (Fallschirmgröße, Absprunghöhe, Masse des Springers) oder Zielvorgaben (maximale Aufprallgeschwindigkeit, Fallzeit) ermöglichen eine Diskussion, in der weitere Erkenntnisse gewonnen werden können. Grafische Darstellungen, die die Verzahnung von Ort, Geschwindigkeit, Beschleunigung und damit verbunden Kraft und Impuls beschreiben, ermöglichen den Schülerinnen und Schülern Zusammenhänge zu erkennen und sich zu erarbeiten. Gleichzeitig ist es möglich, den aus der Sekundarstufe I schon bekannten Energieerhaltungssatz an dieser Stelle zu nutzen und beispielsweise die Aufprallgeschwindigkeit oder Steighöhe energetisch statt kinematisch zu bestimmen. Der freie Fall ist auch aus der energetischen Betrachtung heraus ein Sonderfall. Beim Bungeesprung kann beispielsweise untersucht werden, wie lang das zu verwendende Gummiseil sein darf und welche Federkonstante es haben muss, damit ein Springer mit bestimmter Masse bei einem Sprung in einen Fluss unter einer Brücke nur mit dem Kopf eintaucht. Reale Situationen, untersucht mit Experimenten und verzahnt mit theoretischen Überlegungen, ermöglichen einen lebendigen und nachhaltigen Mechanikunterricht. Ein solches Vorgehen spart Zeit, bietet die Möglichkeit der Nutzung von Kontexten, erzeugt strukturiertes und vernetztes Wissen und schult weitere Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler, die über das reine Faktenlernen auf Vorrat hinausgehen.

Unterschiedliche Unterrichtsansätze zum Thema Mechanik:

- Kraft und Beschleunigung (zum Beispiel Muckenfuß): Bewegungsarten von Körpern als Zugang zum Kraftbegriff: Entspricht dem klassischen didaktischen Konzept ($\vec{F} = m \cdot \vec{a}$), bietet aber methodische Beispiele aus dem Erfahrungsbereich der Schülerinnen und Schüler.
- Kraftstoßkonzept (zum Beispiel Wiesner, Wodzinski): Im Mittelpunkt steht die Newtonsche Bewegungsgleichung in Form des Kraftstoßes ($\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$). Der Impuls

und seine Änderung wird von Beginn an gemeinsam mit der Geschwindigkeit und deren Änderung betrachtet.

- Impulsänderung (zum Beispiel Herrmann, Leisen): Im Zentrum der Mechanik steht der Impulsbegriff, die Kinematik taucht am Rand der Verwendung von Zeit- und Geschwindigkeitsbegriff auf. Die Kraft wird als Änderungsrate des Impulses ($\vec{F} = \Delta\vec{p}/\Delta t$) beschrieben.
- Von der Energie zur Kraft (zum Beispiel Backhaus, Frenzel, Rode): Aufbauend auf dem Basiskonzept Energie wird Kraft als ein Maß für die „Heftigkeit von Energieübertragungsvorgängen“ als $F = \Delta E/\Delta s$ eingeführt. Dabei hat das (grafische) Differenzieren und Integrieren in Strecke-Energie- beziehungsweise Strecke-Kraft-Diagrammen einen hohen Stellenwert.

Diese Liste ist nicht vollständig, zeigt aber auf, dass in der Fachdidaktik ein dynamisch orientierter Mechanikunterricht schon seit langer Zeit präferiert wird. Häufig werden es geschickte Kombinationen der unterschiedlichen Konzepte sein, die zu einem erfolgreichen Mechanikunterricht führen. Unterstützt wird eine dynamische Herangehensweise in der Mechanik durch eine Reihe von Veröffentlichungen mit Unterrichtsmaterial der gängigen Schul- und Lehrmittelverlage. Letztendlich bleibt es die Aufgabe der einzelnen Lehrkraft und der jeweiligen Physikfachschaft, sich für einen Weg durch die Mechanik zu entscheiden. Artikel zu diesem Thema und Materialien zu den genannten Konzepten finden sich im Fachportal Physik des IQSH (<https://fachportal.lernnetz.de/sh/faecher/physik/materialien-und-links.html>, abgerufen am 28.06.2022).

Literatur

Leisen, Josef (Hrsg.) (2005): Sprache. Naturwissenschaften im Unterricht Physik 87/2005

4 Curricularer Aufbau des Unterrichts zur Quanten- und Atomphysik

Im Folgenden werden zunächst die Merkmale aufgeführt, die kennzeichnend für Quantenobjekte sind, bevor im Weiteren unterschiedliche Wege beschrieben werden, wie diese Aspekte im Physikunterricht thematisiert werden können.

4.1 Merkmale von Quantenobjekten

Basierend auf Feynmans Quantenelektrodynamik hat Küblbeck folgende Merkmale von Quantenobjekten zusammengestellt (vgl. Küblbeck und Müller, 2002, zitiert nach Mikelskis, 2006):

Merkmale von Quantenobjekten	
Wellenmerkmal/Fähigkeit zur Interferenz	Die Wellenmerkmale von Quanten zeigen sich in Doppelspaltexperimenten sowohl bei hoher Intensität als auch bei einzelnen Quantenobjekten (Photonen oder Elektronen) bei langer Belichtung. Zur Beschreibung des Wellenmerkmals wird die Wellenfunktion sowie die Wellenlänge genutzt.
Teilchenmerkmal	Die Teilchenmerkmale von Quanten zeigen sich in Doppelspaltexperimenten mit einzelnen Quanten durch das Aufleuchten einzelner Stellen am Schirm. Zur Beschreibung des Teilchenmerkmals werden diskrete („gequantelte“) Energien und Impulse genutzt.
stochastisches Verhalten	Das stochastische Verhalten von Quanten zeigt sich in Doppelspaltexperimenten mit einzelnen Quantenobjekten ebenfalls durch das Aufleuchten der Stellen am Schirm. Diese Stellen sind im Einzelfall nicht vorhersagbar; lediglich die statistische Verteilung, die sich nach vielen Wiederholungen des Experimentes einstellt, kann vorhergesagt werden. Zur Beschreibung dient die Wahrscheinlichkeitsdichte, die gemessen werden kann.
Verhalten beim Messprozess/eindeutige Messergebnisse	Obwohl Quantenobjekte die Eigenschaft „Ort“ nicht besitzen, sind Messergebnisse stets eindeutig - auch wenn sich das Quantenobjekt vor der Messung in einem Zustand befand, der unbestimmt bezüglich der gemessenen Größe ist. Die Messung greift also aktiv in das Geschehen ein: Das gemessene System wird „gezwungen“, sich für einen möglichen Messwert zu „entscheiden“ (Zustandsreduktion).
Komplementarität	Bei der Ortsmessung findet man jedes Elektron hinter genau einem der beiden Spalte. Wiederholt man das Experiment mit vielen Elektronen, stellt man fest, dass sich statt des Doppelspalt-Interferenzmusters eine strukturlose Verteilung ergibt. Dies ist dann der Fall, wenn das Experiment - zum Zeitpunkt der Detektion dieser Quantenobjekte auf dem Schirm - eine Information enthält, die man eindeutig einer der klassischen denkbaren Möglichkeiten zuordnen kann. Interferenzmuster und Unterscheidbarkeit der klassisch denkbaren Möglichkeiten schließen sich aus.

4.2 Curricularer Aufbau des Unterrichts zur Quanten- und Atomphysik

Zum curricularen Aufbau des Unterrichts zur Quanten- und Atomphysik gibt es verschiedene Möglichkeiten. Während die Mechanik als Grundlage aller Inhaltsbereiche (elektrische und magnetische Felder, mechanische und elektromagnetische Schwingungen und Wellen, Quantenphysik und Materie) am Beginn der Oberstufe behandelt wird, besteht anschließend die Möglichkeit, zunächst Felder oder Wellen zu behandeln. Im Sinne eines Spiralcurriculums empfiehlt es sich, diese Inhaltsbereiche immer wieder zu vertiefen und zu vernetzen. Welchen Weg man durch die Quantenphysik wählt, hängt von Entscheidungen der Lehrenden (Fachschaft) und von den medialen und experimentellen Möglichkeiten der Schule ab. Im Folgenden werden einige erprobte Konzepte zur Quantenphysik kurz vorgestellt, die auf unterschiedlichen Wegen durch das Thema führen. Es gibt immer wieder Schnittstellen, Gemeinsamkeiten und damit die Möglichkeit, Ideen zu kombinieren und sich gegenseitig ergänzen zu lassen. Hinweise zur Ausgestaltung eines Oberstufencurriculums finden sich auch in Teil III, Kapitel 7.

Im Folgenden werden einige Unterrichtskonzepte kurz vorgestellt, die zum Teil den traditionellen Weg aufgreifen und vertiefen, zum Teil auch alternative Wege aufzeigen.

Das traditionelle Curriculum

Der Unterrichtsverlauf zur Quantenphysik in Schulen ist häufig¹ von der historischen Entwicklung seit der Beschreibung des Fotoeffekts durch Einstein traditionell geprägt. Nach der Einführung des Teilchencharakters von Licht anhand des Fotoeffekts folgt die Behandlung von Röntgenstrahlung und des Compton-Effekts, woran sich der Dualismus von Welle und Teilchen beschreiben lässt. Es folgen die Behandlung klassischer Atommodelle, Linienspektren, Bohr'sches Atommodell, Franck-Hertz-Versuch, Wellenverhalten von Elektronen und schließlich das quantenmechanische Atommodell. Dieser Unterrichtsgang ist sicher nicht nur durch seine historische

Entwicklung weit verbreitet, sondern auch durch die Möglichkeiten, typische vorhandene Schulexperimente durchzuführen oder im Bereich des Bohr'schen Atommodells klassische quantitative Aufgaben zu stellen.

Dieses traditionelle Vorgehen ist in einigen Studien kritisiert worden:

- Das anschauliche Bild des Bohr'schen Atommodells bleibt auch nach der Behandlung des quantenmechanischen Atommodells oft das einzige Modell, auf welches sicher zugegriffen werden kann.
- Die Welle-Teilchen-Problematik von Quanten wird häufig nur als Dualismus behandelt. Quanten besitzen jedoch mehr als nur zwei charakterisierende Eigenschaften (siehe Tabelle); insbesondere das statistische Verhalten der Quanten wird nicht ausreichend thematisiert.

Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik

In diesem Unterrichtsverlauf werden die Eigenschaften von Quanten hervorgehoben, die gegenüber den klassischen Konzepten neu sind. Gleichzeitig knüpft es aber an liebgewonnene Experimente (zum Beispiel Fotoeffekt, Elektronenbeugung) an und ermöglicht so ein sanftes Umsteuern des traditionellen Unterrichtsgangs. Hierzu gehören beispielsweise das stochastische Verhalten von Quantenobjekten, die Unschärfe in Bezug auf den Ort sowie das Verhalten von Quanten während eines Messprozesses. Diese Eigenschaften werden zunächst im Sinne eines Spiralcurriculums qualitativ beschrieben, anschließend erhalten die Lernenden erste Einblicke in formale Strukturen der Quantenmechanik anhand von Doppelspaltexperimenten mit Licht und Elektronen, bevor im Anschluss komplexe quantitative Analysen erfolgen (Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Wellenfunktion; Komplementarität).

Die Universität München bietet unter dem Namen „milq“ (Münchener Internetlehrgang zur Quantenphysik, www.milq.info, abgerufen am 28.06.2022) einen Internetlehrgang für Lehrkräfte an, zu dem passend unter dem Namen „SPQR“ (Schülerprogramm zur Quanten-

¹ 58% der Lehrkräfte gaben an, mit dem Fotoeffekt in die Quantenphysik einzusteigen, 15% steigen mit dem Doppelspalt ein. (Burkard und Schecker, 2004)

physik-Reflexion) Materialien und Simulationen für den Einsatz im Unterricht angeboten werden.

Unterricht mit Doppelspaltexperimenten im Zentrum

Die oben genannten Merkmale von Quantenobjekten lassen sich alle an Doppelspaltexperimenten mit Licht, einzelnen Photonen und Elektronen veranschaulichen. Mithilfe von Computersimulationen lassen sich reale Doppelspaltexperimente mit einzelnen Quantenobjekten nachstellen. Diese didaktische Vorgehensweise hat unter anderem durch Feynmans Vorlesungen über Physik eine große Popularität erlangt. Die klassischen

Schulexperimente (zum Beispiel Fotoeffekt) werden weiterhin an geeigneter Stelle in den Unterrichtsgang integriert und erhalten dadurch einen anderen didaktischen Stellenwert. Solche Unterrichtskonzepte werden beispielsweise von Leisen (1999) oder Niedderer (1998) ausführlich beschrieben.

4.3 Vertiefungen zur Quantenphysik

Im Fachportal des IQSH finden sich zu folgenden quantenphysiktypischen Themen Artikel, Unterrichtsvorschläge und/oder Links:

Unterrichtsgegenstand	Hinweise
Doppelspalt	Zum Einsatz des Doppelspalts im Unterricht zur Quantenphysik, entweder als Einstieg oder als wichtigem Bestandteil, finden sich in den Arbeiten von Küblbeck (2002), Leisen (1999) und im Münchner Konzept Vorschläge und Unterrichtsmaterialien. Zur Verknüpfung der Quantenobjekte Photon und Elektron dienen neben PC-Simulationen Experimente wie Röntgenspektrum und Elektronenbeugungsröhre.
Interferometrie	Zur Interferometrie mit Quantenobjekten hat Küblbeck (2002) Unterrichtsvorschläge erarbeitet.
Schrödingergleichung	Eine mathematikbasierte Einführung der Schrödingergleichung findet sich im Münchner Konzept. Eine Alternative, die basierend auf dem Krümmungsverhalten des Graphen von $\psi(r)$ der stationären Schrödingergleichung die Energieniveaus mithilfe eines Modellbildungssystems ermittelt, findet sich in der Bremer Physikdidaktik um Niedderer. Alternativ zum Modellbildungssystem kann hier auch die Simulationssoftware „Schrödingers Schlange“ verwendet werden.
Linearer Potentialtopf	Unterrichtsideen zum linearen Potentialtopf finden sich in jedem gängigen Oberstufenphysikband. Hier können die stationären Lösungen entweder über die Heisenber'gsche Unschärferelation und die De Broglie-Wellen ermittelt oder direkt als Lösungen einer vereinfachten stationären Schrödingergleichung erzeugt werden. Eine mögliche fächerübergreifende Anwendung (Chemie) findet sich in der Betrachtung von Cyaninfarbstoffen.
<i>Fortführung der Tabelle »</i>	

Unterrichtsgegenstand	Hinweise
Fotoeffekt, Compton-effekt, Paarbildung	Der Fotoeffekt kann in den vorgestellten Konzepten (traditionell, Münchner Konzept) als Einstiegsexperiment dienen. Es ist aber genauso möglich, ihn erst im Laufe des Unterrichtsverlaufs zur Bestätigung oder Ermittlung der Einsteingleichung $E=hf$ einzusetzen (Leisen, 1999). Hierzu gehören dann auch die Themen Comptoneffekt und Paarbildung.
Heisenberg'sche Unschärferelation	Die Heisenberg'sche Unschärfe wird in vielen Texten aus der Beugung am Einzelspalt hergeleitet. Eine Alternative ist möglich, wenn man zunächst die akustische Unschärferelation einführt und mithilfe dieser dann die Heisenberg'sche Unschärfe plausibel macht.
Zeigerdarstellung	Zeigerdarstellungen lassen sich in unterschiedlichen Bereichen der Physik gewinnbringend einsetzen. Mögliche Themen sind Schwingungen und Wellen, Interferenzexperimente (Cornuspiralen) und Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

Literatur:

Burkard U., & Schecker H. (2004): Status Quo des Quantenphysik-Unterrichts. Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht 57(5), 279-284.

Leisen, J. (1999): Quantenphysik / Mikroobjekte. Handreichung zum neuen Lehrplan Physik in der S II in Rheinland-Pfalz. Bad Kreuznach.

Mikelskis, H. (2006): Physik-Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Cornelsen Scriptor.

Niedderer, H. & Deylitz, S. (1998): Introduction to Atomic Physics A concept based on the Schrödinger equation. Textbook for students. Institute of Physics Education, University of Bremen: <http://www.idn.uni-bremen.de/pubs/Niedderer/1998-QAP-Skript-engl.pdf>, abgerufen am 28.06.2022

III Hinweise für den Unterricht

1 Kontexte für den Physikunterricht

Im Physikunterricht gibt es immer wieder Bestrebungen, durch das Heranziehen von Lebensweltbezügen und Anwendungen Inhalte des fachsystematischen Unterrichts zu vertiefen und die Schülerinnen und Schüler verstärkt für das Fach zu motivieren. Das geschieht zumeist nach fachlichen, fachdidaktischen oder methodischen Gesichtspunkten, zum Beispiel bei einem phänomenorientierten Einstieg oder einer Anwendungsaufgabe am Ende einer Einheit.

„Im Mittelpunkt steht das Problem. Die Physik ist dabei zunächst nur so weit von Interesse, wie sie zur Lösung des Problems benötigt wird. Das Lernen orientiert sich nicht primär an der physikalischen Fachsystematik.“
(Müller, 2006)¹

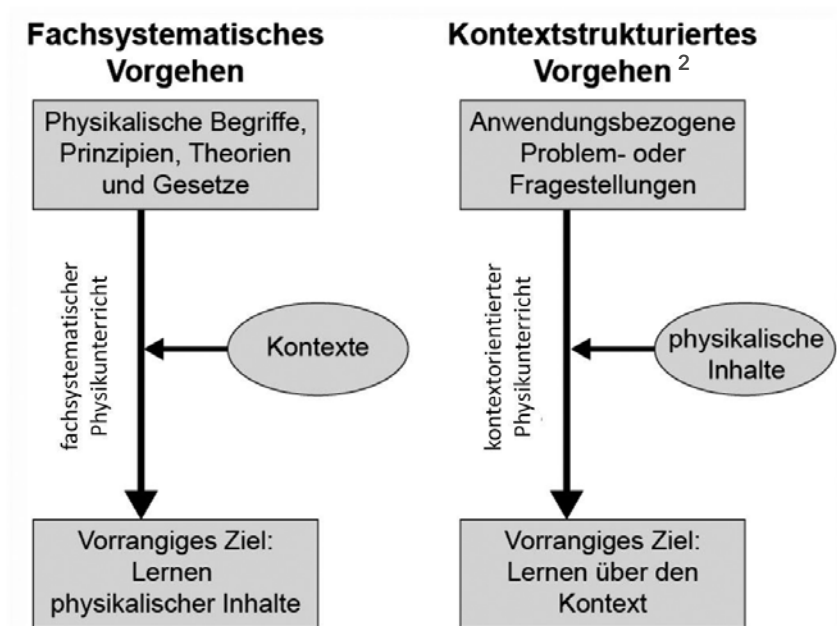
Die Fachanforderungen Physik sind fachsystematisch gegliedert, sie bieten jedoch Raum für kontextorientierten Unterricht. Dieser wird nicht verbindlich festgeschrieben, aber empfohlen. Wenn die physikalischen Inhalte zeitweise nicht im Mittelpunkt stehen, bedeutet dies, dass auch quer durch die Tabellen der Fachanforderungen gelesen

werden kann und muss. Es sei aber an dieser Stelle sicherheitshalber darauf hingewiesen, dass es nicht darum gehen kann, die physikalische Fachsystematik im Unterricht vollständig aufzugeben. Auch die Kontexte selber sind frei wählbar, sodass jede Lehrerpersönlichkeit sich mit ihren besonderen eigenen Interessen und Kompetenzen einbringen kann

Geeignete fachliche Kontexte

- bekommen durch ihren Bezug zur Lebenswelt besondere Bedeutung,
- bieten Gelegenheit zur Kompetenzentwicklung,
- tragen zur Entwicklung der fachsystematischen Strukturen bei,
- bieten vielfältige Handlungsmöglichkeiten für einen aktiven Lernprozess,
- sind fächerübergreifend.

Im Folgenden werden einige Beispiele für geeignete Kontexte genannt, die über den Einstieg oder eine einfache Anwendung des bereits Gelernten hinausgehen und sich auch zur Strukturierung einer längeren Unterrichtsphase eignen.



Fachsystematischer und kontextorientierter Physikunterricht

Beispiele für Kontexte in der Sekundarstufe I

Kontext	Themen/Aspekte/Inhalte	Hinweise
Tauchen / Leben unter Wasser	<ul style="list-style-type: none"> • schwere und leichte Stoffe - Dichte • Schweben, Steigen und Sinken (Fische, Taucher, U-Boot) • Vorstellungen zum Druck • Druck und Kraft • hydrostatisches Paradoxon • Warum werden Tiere in der Tiefsee nicht zerquetscht? • Kräfte beim Tauchen - Auftrieb • Schwimmen 	Das gesamte Thema Dichte und Druck kann im Kontext des Tauchens unterrichtet werden. Damit ist der Tauchvorgang Methode und Inhalt zugleich. Fächerübergreifend kann man auch auf das Überleben unter Wasser eingehen.
Sonnensystem	<ul style="list-style-type: none"> • Sonne, Himmel, Jahreszeiten (geozentrisch) • Finsternisse und Mondphasen • Planeten • Orientierung am Sternenhimmel (Sternkarte) 	Astronomische Inhalte sind für Schülerinnen und Schüler meist sehr motivierend. In der Sekundarstufe I bietet sich hier zunächst die Erkundung des Sonnensystems an. Dazu kann auch die Orientierung am Sternenhimmel angesprochen werden. Teile der in der Optik geforderten Inhalte können hier kontextorientiert verankert werden.
Sinnesorgane von Menschen und Tieren	<ul style="list-style-type: none"> • Fühlen: Temperatur-, Druck-, Schmerzempfinden • Hören: Schall, Mikrophon, Lautstärke, Richtungshören, Schallgeschwindigkeit, Surround-Anlagen • Sehen: Lochkamera, Linsen, Sehkorrekturen, ... • Riechen und Schmecken: Basiskonzept Materie, fächerübergreifend mit Chemie: Molekülketten, Rezeptoren, ... 	Auch wenn die Sinnesphysiologie im Biologieunterricht fest verankert ist, lohnt sich der physikalische Blick auf unsere Sinne.
<p>Weitere mögliche Kontexte: Fliegen, optische Instrumente, elektronische Schaltungen, Klimawandel, Geschichte von der Entdeckung der Radioaktivität bis zur Atombombe, Energiesparhaus, Auto der Zukunft ...</p>		

Beispiele für Kontexte in der Sekundarstufe II

Kontext	Themen/Aspekte/Inhalte	Hinweise
Raumfahrt	<ul style="list-style-type: none"> • Freier Fall (Experiment von Apollo 15) • Waagerechter Wurf (Die Einbeziehung der Erdkrümmung führt direkt zur Umlaufbahn.) • Abnahme der Fallbeschleunigung (Das Gravitationsgesetz muss hier noch nicht erwähnt werden.) • Bahn- und Winkelgeschwindigkeit, Zentripetalkraft, Drehimpuls und Drehimpulserhaltung • Umlaufbahnen, Raketengleichung oder iterative Verfahren • Gravitationsgesetz, Fluchtgeschwindigkeiten, Hohmanntransfer 	Die (bemannte) Raumfahrt bekommt derzeit neuen Auftrieb und bietet damit einen Kontext zur Strukturierung der Mechanik. Der Unterrichtsgang kann durch die Analyse historischer Quellen (Apollo-Programm) oder durch aktuelle Raumfahrtmissionen bereichert werden.
Himmelsmechanik	<ul style="list-style-type: none"> • geozentrisches und heliozentrisches Weltbild • Kepler'sche Gesetze (Bahngeschwindigkeiten) • Galilei (Dialog) • Newton und das Gravitationsgesetz (Zentripetalkraft, Umlaufbahnen, Fluchtgeschwindigkeiten) 	Statt eines Kontextes aus der Raumfahrt bietet sich auch ein historischer Kontext zur Himmelsmechanik an.
Sterne (Astrophysik)	<ul style="list-style-type: none"> • Orientierung am Sternenhimmel als Einführung • Zustandsgrößen (Position, Masse, Temperatur, Durchmesser, Helligkeit, ...) von Sternen • Spektralanalyse mit Prisma und optischem Gitter (Farben, Wellenlänge, Spektrum) • Linienspektren (diskrete und kontinuierliche Spektren, Emissions- und Absorptionsspektren) • Dopplereffekt in der Astronomie • Energieniveaus des Wasserstoffatoms • Spektralanalyse und Zusammensetzung der Sterne • Energieabstrahlung der Sterne (Strahlungsgesetze, Kernfusion) • Aufbau der Sterne (Schichten, Sonnenflecken, solare Magnetfelder) • Hertzsprung-Russel-Diagramm und Sternentwicklung 	Astrophysiker können nicht zu ihren Untersuchungsobjekten reisen und müssen ihre Theorien mit dem erlangen, was die Sterne uns während ihres Lebens zusenden. Dies sind im Wesentlichen elektromagnetische Wellen. Es bietet sich an, die Untersuchung von Sternenlicht schon früh im Unterrichtsgang zu thematisieren, um dann die Wellenphänomene und Teile der Atomphysik in diesen Kontext zu integrieren.
		<i>Fortführung der Tabelle »</i>

Kontext	Themen/Aspekte/Inhalte	Hinweise
Kosmologie	<ul style="list-style-type: none"> • Schwarze Löcher und Elemente der Allgemeinen Relativitätstheorie • Galaxien (von Rotationskurven zu dunkler Materie, Galaxienverteilung) • Hintergrundstrahlung • Urknall und die Entstehung der Materie 	Die Kosmologie hat in den letzten Jahrzehnten einen gewaltigen Erkenntniszuwachs zu verzeichnen. Dabei bleiben aber weiter viele Fragen offen. Dieses Grenzgebiet leistet einen wichtigen Beitrag zur Allgemeinbildung.
Farben	<ul style="list-style-type: none"> • Licht und Farbe: sichtbares Licht, additive und subtraktive Farbmischung, Entstehung von (subjektiven) Farbeindrücken • Farbigekeit und Molekülstruktur: Aufbau von farbigen, organischen Verbindungen • Färben von Stoffen • digitale und analoge Photographie, Fotoeffekt 	Eine einfache Erklärung der Farbigekeit auf Basis der Lichtabsorption und -emission ermöglicht fächerübergreifend chemisch-physikalische Betrachtungen.
Medizin	<ul style="list-style-type: none"> • Röntgendiagnostik • Ultraschall diagnostik • Computertomographie • Magnetresonanztomographie • Nervenzellen und Signalverarbeitung • Elektrokardiogramm • Auswirkungen von Strahlung auf den Menschen (Elektrosmog, Lärmbelastung, natürliche Radioaktivität) 	Ein Verständnis für medizinische Aspekte ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, eigenständig Bewertungskriterien für gesundheitliche Maßnahmen in Entscheidungssituationen herzuleiten (vergleiche Kompetenzbereich Bewertung der Fachanforderungen).
Sport	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierung von Leistungen durch Betrachtung von Energie- und Impulserhaltung (Speerwurf, Kugelstoßen, Rudern, Weitsprung) • Bewegungslehre, zum Beispiel Videoanalyse von Bewegungen, Steuern und Erlernen von Bewegungen • Trainingslehre (Kraft, Ausdauer, Schnelligkeit, Beweglichkeit, Muskulatur) • Biomechanik (Prinzip des optimalen Beschleunigungsweges, Gegenwirkungsprinzip $actio = reactio$, Drehimpuls) 	Die Mechanik in der Einführungsphase lässt sich in allen Profilen gut in den Kontext Sport einbinden.
Weitere Kontexte: Akustik und Musik, Licht und Sehen, Fahrzeugphysik, Sensorik, instrumentelle Analytik (IR-, VIS-, UV-, Raman-, Massen-, Kernresonanz-Spektroskopie)		

Literatur:

Müller, R. (2006). Kontextorientierung und Alltagsbezug. In H. F. Mikelskis (Hrsg.), "Physik Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II" (S. 102-119). Berlin: Cornelsen Verlag GmbH & Co. KG.

Nawrath, D. (2010): Kontextorientierung Rekonstruktion einer fachdidaktischen Konzeption für den Physikunterricht, Dissertation, Universität Oldenburg, http://oops.uni-oldenburg.de/1018/1/Nawrath_Kontextorientierung.pdf, abgerufen am 07.07.2022.

2 Die Rolle des Experiments im Physikunterricht

2.1 Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht - Immer noch aktuell?

Ein Standpunkt von Prof. Roger Erb (Goethe-Universität Frankfurt), veröffentlicht in MNU 67/7 (2014)

Fragt man Kolleginnen und Kollegen, warum wir so viel Wert legen auf das Experimentieren im Unterricht, erhält man in der Regel als Antwort: Weil das Experimentieren Teil der naturwissenschaftlichen Praxis ist. Und gemeint ist damit meist, dass Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren naturwissenschaftliches Arbeiten praktizieren und zugleich das notwendige Fachwissen erwerben. Zudem sollen sie erfahren, wie Naturwissenschaft »funktioniert«. Die Bedeutung des Experimentierens für den naturwissenschaftlichen Unterricht zeigt sich allein schon daran, dass der Großteil der Unterrichtszeit (im Physikunterricht) mit dem Experimentieren und der Vor- und Nachbereitung zugebracht wird.

Dass die gewünschten Ziele nicht immer erreicht werden können, hat die fachdidaktische Forschung in den vergangenen Jahrzehnten aufgezeigt. So gibt es gewichtige Indizien, dass die angestrebte gekoppelte Kompetenz, nämlich ein Experiment erfolgreich durchzuführen und dabei gleichzeitig das gewünschte Fachwissen zu erwerben, nur schwer zu erreichen ist.¹

In der naturwissenschaftlichen Arbeit hat das Experiment - vereinfacht ausgedrückt - die Rolle einer »Frage an die Natur«. Auch für den naturwissenschaftlichen Unterricht kann man das so sehen, wenngleich zu berücksichtigen ist, dass Schülerinnen und Schüler sich des Künstlichen eines Experiments im Rahmen des Unterrichts durchaus bewusst sind - der inhaltliche Aspekt muss ja nicht wirklich geklärt werden, da die Lösung in der Regel der Lehrkraft schon bekannt ist. Ohnehin ist die Aufgabe des Experimentierens im Unterricht weiter gefasst.

Unterrichtsbeobachtungen legen nahe, das Experimentieren in der schulischen Praxis in drei Funktionen zu unterscheiden, nämlich »Phänomen darstellen«, »Konzept

veranschaulichen« und »Hypothesen testen«². Anders als - wegen der Bedeutung des Experiments für den Erkenntnisprozess - zu erwarten gewesen wäre, spielt das Testen von Hypothesen im alltäglichen Unterricht jedoch oft nur eine untergeordnete Rolle. Damit wird der Unterricht offenbar der doch eigentlich wichtigsten Funktion des Experimentierens nicht gerecht. Muss das Experimentieren neu ausgerichtet werden?

Wir müssen zur Kenntnis nehmen, dass Schülerinnen und Schüler oft einen anderen Blick auf den Unterricht haben als die Lehrkraft. Das Experimentieren bringt immer ein neues Medium in den Unterricht ein; selbst zu experimentieren geht mit einem Wechsel der Arbeitsform einher; Experimentieren heißt auch, etwas ausprobieren zu können. Der inhaltliche Gegenstand spielt unter diesen Gesichtspunkten meist nur eine untergeordnete Rolle. Statt der »Frage an die Natur« können andere Fragen wichtig werden.

Das ein Phänomen aufzeigende Experiment soll für Schülerinnen und Schüler die Frage nach dem Einklang der eigenen Vorstellungen mit diesem Phänomen wecken. Aus dieser Neugier soll als zweiter Schritt idealerweise das Bedürfnis entstehen, den Sachverhalt näher zu untersuchen. Dies kann mit einem Experiment geschehen, dessen Planung und Durchführung dann die zentrale Stelle im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess darstellt. Es geht um das Hypothesenprüfen, wodurch die »Frage an die Natur« beantwortet wird.

Doch selbst wenn den Lernenden bewusst ist, dass die Frage eigentlich schon beantwortet ist, und selbst wenn auch sie das Ergebnis des Experiments schon kennen, kann es doch wegen der Tätigkeit an sich noch interessant sein, den »Vorgang nachzuvollziehen«. Schülerinnen und Schüler sehen sich dadurch mit einer Frage an ihr experimentelles Geschick und Können konfrontiert.

Gerne wird das Experimentieren als ein Mittel gesehen, das in jedem Fall erfolversprechend ist. Nicht nur das Experimentieren selbst werde gelernt, sondern auch das Fachwissen werde verbessert, die Motivation und das soziale Miteinander gefördert. Eine Prüfungsstunde ohne

Experiment ist daher nicht selten schon zum Scheitern verurteilt. Die Auswirkungen der experimentellen Tätigkeit im Unterricht zu untersuchen und Zusammenhänge zwischen Motivation, fachlichem Lernerfolg und der Förderung der Fachmethode des Experimentierens genauer zu charakterisieren, sind zentrale Aufgaben der naturwissenschaftlichen und technischen Fachdidaktiken. Dabei geht es auch darum, solche naheliegenden Auffassungen zu hinterfragen und festsitzende Prinzipien auf den Prüfstand zu stellen. Dass es nicht ganz einfach ist, aus begrenzten Betrachtungen eindeutige und übertragbare Ergebnisse zu erhalten, liegt auf der Hand. Gerade der Experimentalunterricht ist ein äußerst komplexer Prozess, bei dem die Wirkungen der einzelnen Faktoren – wie zahlreiche Untersuchungen gezeigt haben – nur schwer voneinander zu trennen sind.

Schülerinnen und Schüler einerseits und Lehrkräfte andererseits haben nicht notwendigerweise dieselbe Vorstellung davon, warum und wann eine Experimentierphase sinnvoll war oder nicht. Das ist nicht tragisch – es ist allerdings wichtig, dass sich Lehrkräfte dessen bewusst sind und das von ihnen intendierte Ziel eines Experiments im Unterricht deutlich machen. So ist für das Testen einer Hypothese diese zuvor explizit aufzustellen, für das Nachvollziehen eines Messvorgangs beispielsweise wird dagegen erwartet, dass der Mittelwert aus mehreren Messwerten in der Nähe des bekannten Wertes liegt.

Je nach Aufgabe, die das Experiment erfüllen soll, lohnt es sich also, die inhaltlichen, zeitlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Durchführung zu beachten.

Literatur:

- Erb, R. (2014): Experimente im naturwissenschaftlichen Unterricht – Immer noch aktuell? In: MNU 67/7, S. 387. Online abrufbar: www.mnu.de/images/Standpunkte/Standpunkt_14_7.pdf, Stand 13.05.2022.
- Klos, S., Henke, Ch., Kieren, C., Walpuski, M., & Sumfleth, E. (2008). Naturwissenschaftliches Experimentieren und chemisches Fachwissen – zwei verschiedene Kompetenzen. Zeitschrift für Pädagogik 54/3 (2008) S. 304-321.
- Müller, R. (2006). Kontextorientierung und Alltagsbezug. In H. F. Mikelskis (Hrsg.), "Physik Didaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II" (S. 102-119). Berlin: Cornelsen Verlag GmbH & Co. KG.
- Nawrath, D. (2010): Kontextorientierung Rekonstruktion einer fachdidaktischen Konzeption für den Physikunterricht, Dissertation, Oldenburg, http://oops.uni-oldenburg.de/1018/1/Nawrath_Kontextorientierung.pdf, abgerufen am 07.07.2022.
- Tesch, M., & Duit, R. (2004): Experimentieren im Physikunterricht – Ergebnisse einer Videostudie. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften 10, S. 51-69.

2.2 Digitale und analoge Messwerterfassung im Physikunterricht

Durchführung und Auswertung von Experimenten stellen ein zentrales Element des Physikunterrichts dar. Dabei sind Schülerexperimente in vielen Fällen einem Demonstrationsexperiment vorzuziehen. Besonders motivierend ist die arbeitsteilige Bearbeitung ähnlicher Aufgabenstellungen mit unterschiedlichen Methoden. Dieses Vorgehen erweitert die Experimentiermöglichkeiten, da durch dieses Verfahren nur einmal in der Sammlung vorhandene Experimente in Schülerversuche einbezogen werden können.

Anhand der Messwerterfassung beim freien Fall wird dieses Vorgehen exemplarisch vorgeführt. Es wird eine

Vielzahl von Aufbauten vorgeschlagen, bei denen die Schülerinnen und Schüler ausgewählte Experimente durchführen und dabei Messwerte in unterschiedlicher Art und Weise erhalten und auswerten. So ist jedes Gruppenergebnis wichtig und zugleich werden verschiedene Methoden der Messwerterfassung nebeneinander erprobt und können im Nachhinein bewertet werden.

Die Versuchsanleitungen geben bewusst nur Anregungen, da jede Sammlung materialbedingte Anpassungen erfordert. Die Beispiele sind in editierbarer Form im Fachportal Physik des IQSH zu finden (<https://fachportal.lernnetz.de/sh/faecher/physik/materialien-und-links.html>, abgerufen am 28.06.2022).

1. Freier Fall mit der Stoppuhr

- Material:** Stoppuhr, Fallkörper und Metermaß
- Durchführung:** Messen Sie für die Fallstrecken 1m, 2m, 3m, 4m und 5m die Fallzeiten. Nehmen Sie jeweils mindestens 10 Messwerte.
- Auswertung:** Tragen Sie die Fallzeiten gegen die Fallstrecke auf. Treffen Sie Vorhersagen, wie lange ein Sprung von einem 10 Meter-Turm dauert.

2. Freier Fall mit automatischer Zeitmessung

- Material:** Aufbau zur Messung der Fallzeiten mit Lichtschranke oder anderen elektrischen Schaltern.
- Auswertung:** Tragen Sie die Fallzeiten gegen die Fallstrecke auf. Treffen Sie Vorhersagen, wie lange ein Sprung von einem 10 Meter-Turm dauert.

3. Erstellung von Stroboskopaufnahmen

- Material:** Stroboskop (notfalls geht auch eine Stroboskop-App für die LED eines Smartphones)
Fotoapparat auf Stativ mit der Möglichkeit zur Langzeitbelichtung (> 2s)
Schwarzer Hintergrund (Tuch, Karton o.Ä.)
Maßstab (auf dem Foto sichtbar)
- Durchführung:** Variieren Sie die Stroboskopfrequenz und die Richtung des Stroboskoplichtes bei den ersten Probeaufnahmen. Mit etwas Geduld werden die Fotos immer besser. Eine digitale Nachbereitung ist meist zusätzlich sinnvoll.



4. Auswertung von Stroboskop-Aufnahmen



Für das Foto einer fallenden Stahlkugel wurde ein Stroboskop mit 50 Blitzen pro Sekunde verwendet.

Bestimmen Sie die Beschleunigung der Kugel.

Hinweise:

- (1) Erstellen Sie eine t-s-Wertetabelle.
- (2) Zeichnen Sie ein t-s-Diagramm.
- (3) Berechnen Sie die (Durchschnitts-)geschwindigkeit zwischen den Blitzen.
- (4) Zeichnen Sie ein t-v-Diagramm.
- (5) Bestimmen Sie die Steigung im t-v-Diagramm.

5. Videoaufnahme: Frame für Frame

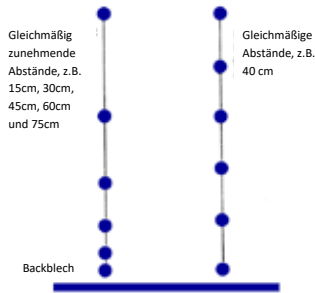
- Material:** Gerät zur Videoaufzeichnung (Smartphone, Digicam o. Ä.)
Wiedergabegerät mit der Möglichkeit, einzelne Frames anzuzeigen
- Durchführung:** Erstellen Sie eine Videoaufnahme eines fallenden Gegenstandes. Fügen Sie dabei einen Maßstab im Bild ein.
Bestimmen Sie den Ort des Gegenstandes in den einzelnen Frames. Finden Sie heraus, mit wie vielen Frames pro Sekunde (fps) Ihre Kamera das Video aufnimmt.
Zeichnen Sie ein t-s-Diagramm.
- Hinweis:** Es gibt verschiedene Möglichkeiten, mit frei verfügbarer Software Filme ohne Aufwand in Einzelbilder zerlegen zu lassen.

6. Automatische Videoanalyse

- Material:** Gerät zur Videoaufzeichnung (Smartphone, Digicam o. Ä.)
Computer oder Tablet mit einer Software für Videoanalyse
- Durchführung:** Erstellen Sie eine Videoaufnahme eines fallenden Gegenstandes. Denken Sie an einen Maßstab im Bild.
Laden Sie das Video in das Videoanalyseprogramm und werten Sie die Bewegung aus.
- Hinweis:** Einige Videoanalyseprogramme und -apps bieten auch die Erstellung von Serienbildern (Action Sequences) an. Diese lassen sich wie Stroboskopaufnahmen auswerten.

7. Fallschnüre: Messen mit dem Ohr

Material: Zwei möglichst lange (> 2m) Fallschnüre mit angeknöteten Müttern, ein Backblech



Durchführung: Die Fallschnüre werden nacheinander über dem Blech fallengelassen.
 Erklären Sie die unterschiedlichen Aufschlagerhythmen.

8. Ultraschallsensor: digitale Messung

Material: Ultraschallbewegungssensor mit computergestützter Messwerterfassung, Ball

Durchführung: Hängen Sie den Bewegungssensor in einigen Metern Höhe auf und halten Sie einen Ball im Abstand von ca. 15 cm darunter. Nehmen Sie ein Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm des freien Falls des Balles auf und bestimmen Sie Beschleunigung des Balles.

Hinweis: Kugelförmige oder gewölbte Gegenstände eignen sich im Gegensatz zu Gegenständen mit flacher Oberfläche besonders gut, da immer ein Teil der Strahlung direkt zum Sensor reflektiert wird.

9. Zebrastrreifen: digitale Messung

Material: digitale Lichtschranke mit computergestützter Messwerterfassung, OHP-Folienstreifen mit schwarztransparenten Zebrastrreifen (z.B. je 10 helle und dunkle Streifen der Breite 2,5 cm; möglichst stabile Folie oder zusätzlich in eine Klarsichtfolie stecken)



Durchführung: Lassen Sie den Zebrastrreifen durch die Lichtschranke fallen und messen Sie jeweils die Zeitabstände zwischen den Hell- und Dunkelphasen. Nehmen Sie ein Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm des freien Falls auf und bestimmen Sie die Beschleunigung des Balles.

10. Freier Fall mit akustischer Stoppuhr I

Material: Metalllineal, Metallkugel oder große Schraubenmutter, Backblech oder Keksdose, Smartphone oder Tablet

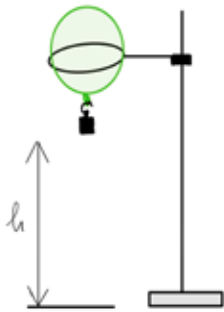
Durchführung: Stoßen Sie mit dem Lineal die Kugel oder Schraubenmutter lautstark so von der Tischkante, dass sie auf dem Blech oder in der Dose landet. Die Zeitmessung übernimmt ein Smartphone oder Tablet mittels einer akustischen Stoppuhr.

Hinweis: Die App *phyphox* der RWTH Aachen bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten der Messwerterfassung mittels eingebauter Sensoren, unter anderem auch eine akustische Stoppuhr.

11. Freier Fall mit akustischer Stoppuhr II

Material: ca. 10 Luftballons mit Halterung, Massestück mit Haken oder Schnur, spitze Nadel oder Streichholz, Backblech oder Keksdose, Smartphone oder Tablet

Durchführung: Legen Sie den Luftballon mit anhängendem Massestück auf eine passende Halterung. Bringen Sie die Luftballons in verschiedenen Höhen zum Platzen. Die Zeit zwischen Knall und Auftreffen des Massestücks entspricht in etwa der Fallzeit. Die Zeitmessung erfolgt über ein Smartphone oder Tablet mittels einer akustischen Stoppuhr (siehe Nr.10).



Ideen und Quellen

- Laserentfernungsmessgerät
- Schwefelbahn
- Fallschirmspringer (z.B. Auswertung realer Daten)
- fallende Tropfen
- fallende Zollstöcke (Reaktionszeit)

Lehrer- und Schülermaterialien mit Kopiervorlagen findet man auch unter <http://www.ti-unterrichtsmaterialien.net>, abgerufen am 28.06.2022.

Weitere Versuche in
Physikalische Freihandexperimente, Aulis Verlag 2012

2.3 Nutzung einer Tabellenkalkulationssoftware zur Erfassung und Auswertung digitaler und analoger Messwerte

Der besondere Charakter der Physik als quantitative Naturwissenschaft zeigt sich im Physikunterricht bei der Auswertung und Analyse zunehmend komplexerer Messergebnisse. Insbesondere für die Analyse von Messungen, die aus einer Vielzahl von Einzelwerten bestehen oder aber nichtlineare Zusammenhänge zeigen, ist es zeitgemäß, im Unterricht digitale Werkzeuge zu verwenden. Neben der Nutzung von einzelnen, auf bestimmte Anwendungen spezialisierten Programmen, die beispielsweise in Messwerterfassungssystemen enthalten sind, bietet sich besonders die Nutzung eines flexibel einsetzbaren Tabellenkalkulationsprogrammes an. Ein solches ist sowohl als kommerzielles als auch als kostenloses Produkt erhältlich und hat den großen Vorteil, dass es auf fast allen häuslichen und schulischen Computern installiert ist. Bei der Durchführung der physikalischen Auswertungen werden dabei die Kenntnisse im Umgang mit dieser Software auch losgelöst von dem jeweiligen physikalischen Inhalt vertieft.

Erleichtert wird das in unterschiedlichen physikalischen Kontexten wiederholte Arbeiten mit dieser Software durch die Möglichkeit des Dateixports aus beispielsweise einer Software von Messwerterfassungssystemen oder Videoanalyseprogrammen. Zunehmend bieten auch viele Applikationen auf Smartphones oder Tablets diese Möglichkeit an.

Ein Schwerpunkt beim Anwenden dieser Methode liegt im Anfangsunterricht auf der korrekten Darstellung physikalisch relevanter Größen mithilfe dieses Computerprogrammes. Mit zunehmenden mathematischen Kenntnissen kommen in den folgenden Jahrgangsstufen dann auch automatisierte Berechnungen hinzu.

Exemplarisch soll nachfolgend die Auswertung eines Versuchs zum freien Fall einer Kugel gezeigt werden. Dazu haben zwei Schülerinnen zu Beginn der Einführungsphase im Klassenraum ein Video dieses Versuchs aufgenommen und Daten mithilfe eines Videoanalyseprogramms erhalten. Das nachfolgende Diagramm, das die vertikale Position der Kugel in Abhängigkeit von der Zeit darstellt, zeigt die Ergebnisse ihrer Auswertung. Die parabelförmige Form dieses Bewegungstyps ist hier zwar bereits zu

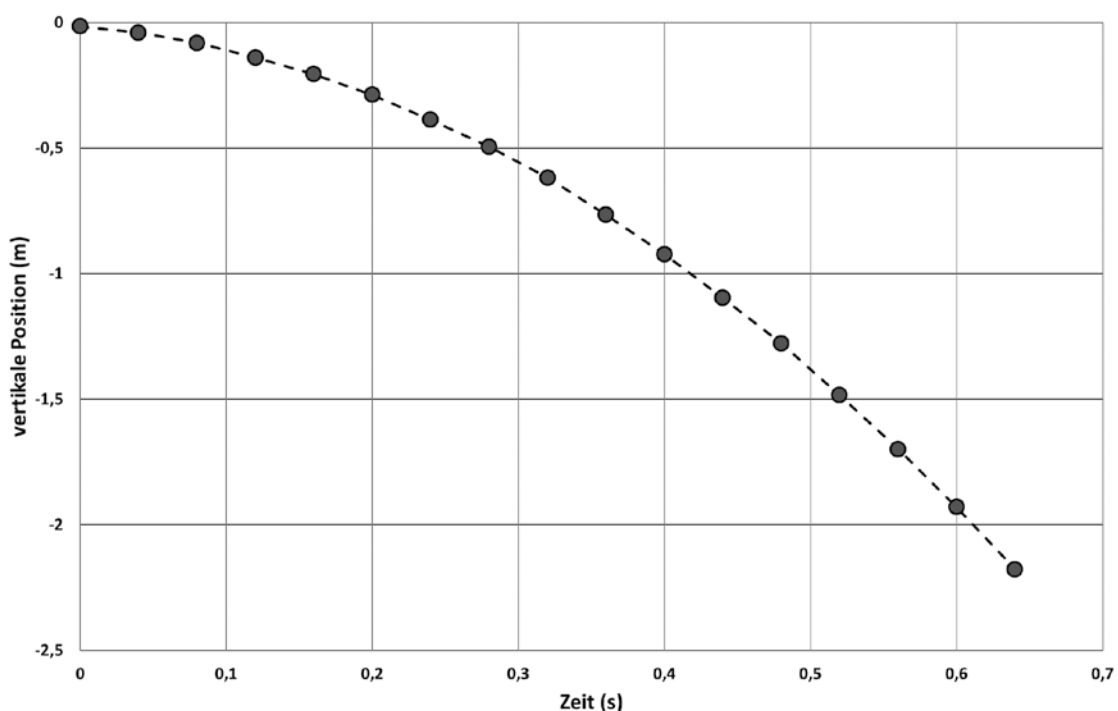


Diagramm: vertikale Position der Kugel in Abhängigkeit von der Zeit

erahnen, als experimenteller Nachweis ist dies noch nicht ausreichend.

Vielmehr lässt sich die sehr gute Qualität der erhobenen Messergebnisse mit Hilfe der folgenden Abbildung, in der die vertikale Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt ist, beurteilen. In dieser Darstellung ist zusätzlich zu den Messergebnissen auch der theoretische Verlauf dieser Bewegung als gestrichelte Linie dargestellt. Es zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung mit den erhobenen Messwerten der beiden Schülerinnen.

Die hier dargestellten Analysen dienen als einfaches Beispiel für die vielfältigen Möglichkeiten, die sich durch die Verwendung von Tabellenkalkulationsprogrammen im Unterricht ergeben. Losgelöst vom Unterrichtsinhalt erweitern die im Unterricht dabei erworbenen Fähigkeiten und Fertigkeiten das Methodenspektrum sinnvoll. Sie legen den Fokus der Schülerinnen und Schüler auf die adäquate Darstellung von physikalischen Messergebnissen und ermöglichen zudem den Vergleich mit theoretischen Werten.

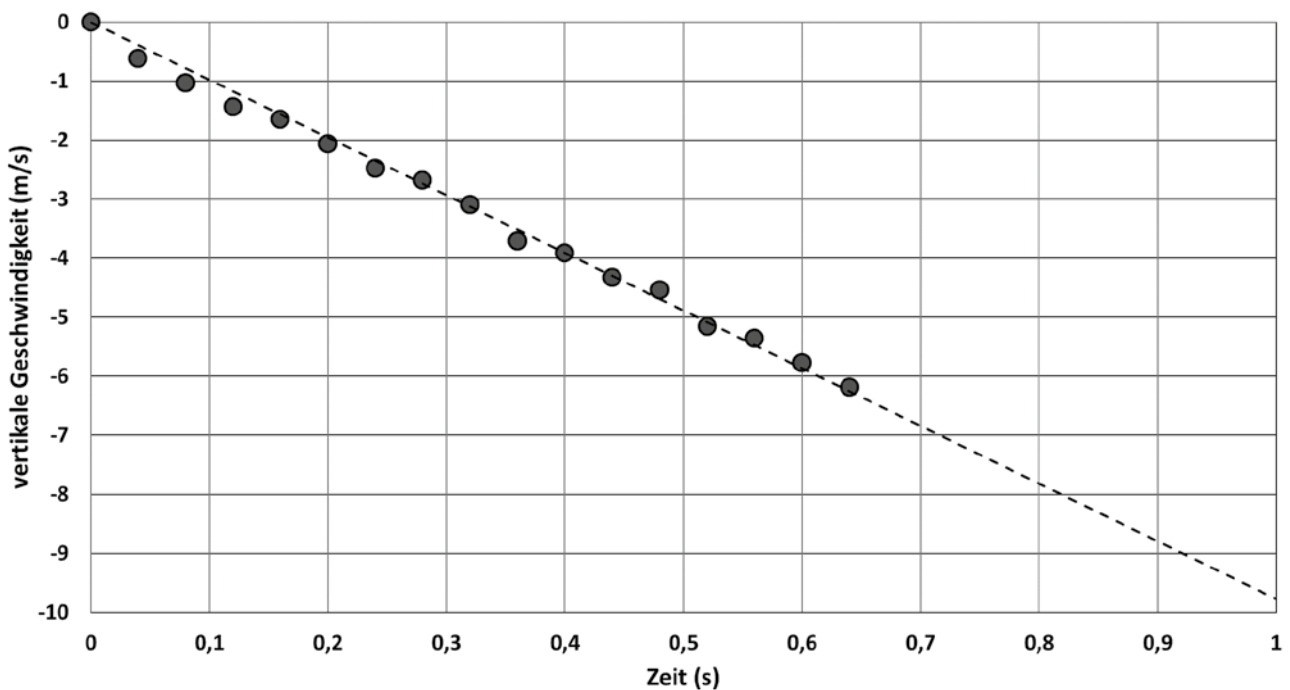


Diagramm: vertikale Geschwindigkeit der Kugel in Abhängigkeit von der Zeit

3 Gestaltung der Mathematisierung im Physikunterricht

Die Relevanz der Mathematik im Physikunterricht ist unbestritten. Gleichzeitig hängt der erreichbare Grad der Mathematisierung von den Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler ab. Während einige Schülerinnen und Schüler die Vorzüge der formalen – und somit exakten – idealisierten Beschreibung physikalischer Phänomene schätzen, begegnen andere einer Mathematisierung mit Abneigung oder einem Problemgefühl. Dieser Heterogenität wird der Physikunterricht durch ein differenziertes und gestuftes Angebot insbesondere im Bereich der mathematischen Modellbildung gerecht.

Wie unterschiedlich je nach Vorkenntnissen und Zielen der Mathematisierungsprozess gestaltet werden kann, wird im Folgenden am Beispiel des Induktionsgesetzes veranschaulicht. Die Fachanforderungen für die Sekundarstufe I verlangen eine Erklärung von Phänomenen zur Induktion, wobei die mathematische Beschreibung des Induktionsgesetzes nicht von den Schülerinnen und Schülern gefordert wird. Dennoch kann durch qualitative und quantitative Aussagen diese Beschreibung vorbereitet werden und im Sinne einer Differenzierung leistungsstarken Schülerinnen

und Schülern angeboten werden. In der Sekundarstufe II erhält die Mathematisierung einen höheren Stellenwert; insbesondere bietet sich hier eine Anwendung der Differentialrechnung zur Formulierung des Induktionsgesetzes an. In der Sekundarstufe I liegt der Schwerpunkt eher in den ersten Stufen der unten beschriebenen Mathematisierung. Diese ersten Stufen können in der Sekundarstufe II knapper gehalten werden, dürfen jedoch nicht entfallen. Insbesondere der Wechsel der Darstellungsformen bietet Lernchancen für Schülerinnen und Schüler bei der Mathematisierung im Physikunterricht. Erst wenn sie diese Darstellungsformen eigenständig wechseln und situationgerecht verwenden können, haben sie die erwarteten Kompetenzen erlangt (vergleiche Leitfaden zu den Fachanforderungen Mathematik, 2015, S. 60f.).

Die Tabelle bietet Anregungen, wie die Mathematisierung differenziert gestaltet werden kann (vergleiche Prediger, 2012).

Ein vollständiges Beispiel zur digitalen Messwerterfassung inklusive Lehrerhandreichungen, Schülerarbeitsblättern, Lösungen sowie Messdaten ist im Fachportal Physik des IQSH hinterlegt.

Stufe der Mathematisierung	Darstellungsform	Hinweise
Verbalisierung: Wenn-Dann-Aussagen	<i>gegenständliche Darstellung:</i> Schülerexperimente <i>verbal-alltagssprachliche Darstellung:</i> Wenn ich den Magneten schneller bewege, geht es besser. <i>verbal-bildungssprachliche Darstellung:</i> Wenn ich einen Magneten durch eine Spule bewege, dann leuchtet meine Leuchtdiode kurz auf. Wenn ich den Magneten herumdrehe, ändert sich das Vorzeichen der Spannung. Wenn ich eine Spule mit mehr Windungen habe, ... <i>verbal-fachsprachliche Darstellung:</i> Wenn ich das Magnetfeld in der Spule ändere, induziere ich eine Spannung. ...	Wenn-Dann-Aussagen sind eine erste Ausdrucksmöglichkeit für Schülerinnen und Schüler zur Beschreibung des Phänomens und somit eine Vorstufe der Mathematisierung. Sie sind besonders einprägsam, wenn sie im Präsens und Aktiv formuliert werden. Dabei werden bereits Fachbegriffe durch die Lehrkraft eingeführt, die die Lernenden in ihrer Formulierung übernehmen.
<i>Fortführung der Tabelle »</i>		

Stufe der Mathematisierung	Darstellungsform	Hinweise
Verbalisierung: Je-Desto-Aussagen	<p><i>verbal-alltagssprachliche Darstellung:</i> Je schneller ich den Magneten durch die Spule bewege, desto heller wird es. Je mehr Windungen meine Spule besitzt, desto ...</p> <p><i>verbal-bildungssprachliche Darstellung:</i> Je schneller ich das Magnetfeld ändere, desto höher ist die Spannung.</p> <p><i>verbal-fachsprachliche Darstellung mit Symbolsprache:</i> Je größer die Magnetfeldänderung ΔB ist, desto höher ist die Spannung U. Je größer die Windungszahl n ist, desto...</p>	<p>Je-Desto-Aussagen bereiten eine Mathematisierung qualitativ vor und entlasten die spätere Formulierung von Proportionalitäten und anderen funktionalen Zusammenhängen insbesondere dadurch, dass schrittweise formale Notationen mitverwendet werden.</p>
Proportionalitäten	<p><i>symbolisch-numerische Darstellung:</i></p> $U \sim \Delta B$ $U \sim n$ <p>Wertetabelle</p>	<p>Um eine Je-Desto-Aussage auf eine Proportionalität einzuschränken, gehören quantitative Messungen unweigerlich dazu. Hierbei bietet sich eine computerbasierte Messung an, um Graphen direkt verschieben zu können. Der Schwerpunkt dieser Stufe liegt somit in der Auswertung gewonnener Messdaten (vergleiche Fachanforderungen, 2022, S. 17, Erkenntnisgewinnung).</p> <p>Während die Proportionalität zwischen U und ΔB in der Sekundarstufe I einen hohen Anspruch an die kognitiven Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler stellt, ist der Zusammenhang zwischen n und U gut greifbar. Auch in diesem Sinne ist eine Differenzierung im Unterricht möglich.</p>
grafisches Differenzieren	<p><i>grafische Darstellung:</i></p> <p>Die zeitliche Änderung des Magnetfelds $B(t)$ und der induzierten Spannung $U(t)$ wird in Graphen direkt untereinander dargestellt und vergleichend interpretiert.</p>	<p>Die grafische Darstellung ermöglicht es, die Kenntnisse der Schülerinnen und Schüler aus dem Mathematikunterricht im Einführungsjahrgang aufzugreifen und anzuwenden.</p> <p>Neben der Interpretation von Messdaten wie im Beispiel links bietet es sich an, aus der Bewegung eines Permanentmagneten bzw. der Änderung eines Magnetfeldes eines Elektromagneten Voraussagen über die induzierte Spannung zu treffen und diese anschließend experimentell zu überprüfen.</p>
<i>Fortführung der Tabelle »</i>		

Stufe der Mathematisierung	Darstellungsform	Hinweise
Differenzialquotienten	<p><i>symbolisch-algebraische Darstellung:</i></p> <p>Bei konstanter Querschnittsfläche A:</p> $U = n \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$ <p>Bei konstantem Magnetfeld B:</p> $U = n \cdot B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}$ <p>Bei gleichzeitiger Änderung von A und B:</p> $U = n \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} + n \cdot B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}$ $U = n \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	<p>Aus dem Mathematikunterricht sind Funktionsuntersuchungen in Abhängigkeit von einer Variablen bekannt. Das Induktionsgesetz erfordert aber eine Betrachtung mehrerer Variablen, die entsprechend durch eine strategische Variablenkontrolle vorentlastet werden muss. Insbesondere der magnetische Fluss Φ, der eine Funktion in Abhängigkeit von t, A und B beschreibt, stellt die Schülerinnen und Schüler vor hohe kognitive Anforderungen. Auch der deduktive Weg des Erkenntnisgewinns bereitet Schülerinnen und Schülern oft große Lernschwierigkeiten.</p>
Differentialquotienten	<p><i>symbolisch-algebraische Darstellung:</i></p> $U = n \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ $U = n \cdot \dot{\Phi}$ <p><i>verbal-fachsprachliche Darstellung:</i></p> <p>Die induzierte Spannung ist proportional zur zeitlichen Änderung des magnetischen Flusses sowie der Windungszahl der Spule.</p> <p>Der Induktionsstrom ist dabei so gerichtet, dass er der Ursache seiner Entstehung entgegenwirkt (Lenz'sche Regel). Dies drückt sich durch das Minuszeichen in der Formel aus.</p> <p><i>symbolisch-algebraische Darstellung:</i></p> $U = -n \cdot \frac{d\Phi}{dt}$ $U = -n \cdot \dot{\Phi}$	<p>Der Übergang von durchschnittlichen Änderungen zur momentanen Änderung ist ebenfalls im Physikunterricht experimentell zu begleiten und nicht nur als mathematische Formalität zu notieren. Hier bietet sich sowohl ein Rückbezug auf die Interpretation der grafisch gewonnenen Messdaten zur Induktion an als auch ein spiralcurricularer Rückbezug zu anderen differenziellen Zusammenhängen (Strecke, Geschwindigkeit und Beschleunigung; Impuls und Kraft; Energie und Leistung).</p> <p>Durch den erneuten Wechsel der Darstellungsform (hier: verbal-fachsprachliche Darstellung) sowie der Verknüpfung mit weiteren Gesetzen (hier: Energieerhaltungssatz, Lenz'sche Regel) kann das Induktionsgesetz weiter gefestigt werden.</p>

Literatur:

Pospiech, G. (2016): Mathematik im Physikunterricht: Warum? Wie? Wozu? In: Naturwissenschaften im Unterricht Physik 153/154. Friedrich Verlag.

Prediger, S., & Wessel, L. (2012): Darstellungen vernetzen: Ansatz zur integrierten Entwicklung von Konzepten

und Sprachmitten. In: Praxis der Mathematik in der Schule 54/55.

Tewes, M., & Enders, J. (2013): E4: Das Induktionsgesetz. In: Schülerexperimente im Physikunterricht mit digitaler Messwerterfassung. Die Top 13: Sicheres Gelingen - hoher Lernerfolg.

4 Argumentationsketten, Bewertungsraster für Nutzwertanalysen und Modellbildungskreislauf

In den Fachanforderungen Physik bilden fachtypische Darstellungsformen die Grundlage für eine erfolgreiche ziel-, sach- und adressatengerechte Kommunikation. Hierzu gehören neben fachübergreifenden Darstellungsformen wie Tabellen, Diagrammen, Graphen auch fachspezifische, zum Beispiel Schaltpläne, Formeln, Intensitätsverteilungen bei Beugungsexperimenten oder auch Notationsweisen im Periodensystem der Elemente. Informationen und Daten in ziel-, sach- und adressatengerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge, veranschaulichen und interpretieren zu können, bildet eine Schlüsselkompetenz für gesellschaftliche Teilhabe.

Da die Kenntnis spezifischer Darstellungsformen hilfreich, oft sogar eine Voraussetzung für die erfolgreiche Bearbeitung von Aufgabenstellungen ist, werden im Folgenden einzelne Standards der Fachanforderungen Physik im Detail erläutert, für die in den illustrierenden Lern- und Prüfungsaufgaben des Instituts für Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB) spezifische Darstellungsformen verwendet werden:

- Argumentationsketten
- Bewertungsraster für Nutzwertanalysen.
- Modellbildungskreislauf

Argumentationsketten

Zum Standard K 8 „Die Lernenden nutzen ihr Wissen über aus physikalischer Sicht gültige Argumentationsketten zur Beurteilung vorgegebener und zur Entwicklung eigener innerfachlicher Argumentationen.“ (KMK/IQB, 2020, S. 17) illustriert die Lernaufgabe „Aufstellen von Argumentationsketten am Beispiel von Induktionsvorgängen“ (www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi_allg/physik, abgerufen am 28.06.2022) einen Vorschlag des IQB zur Darstellung von Argumentationsketten. Selbstverständlich sind auch andere Darstellungsformen geeignet, um kausale Zusammenhänge zwischen Ursache und

Material 1

Arbeitsmaterial zu Teil b)

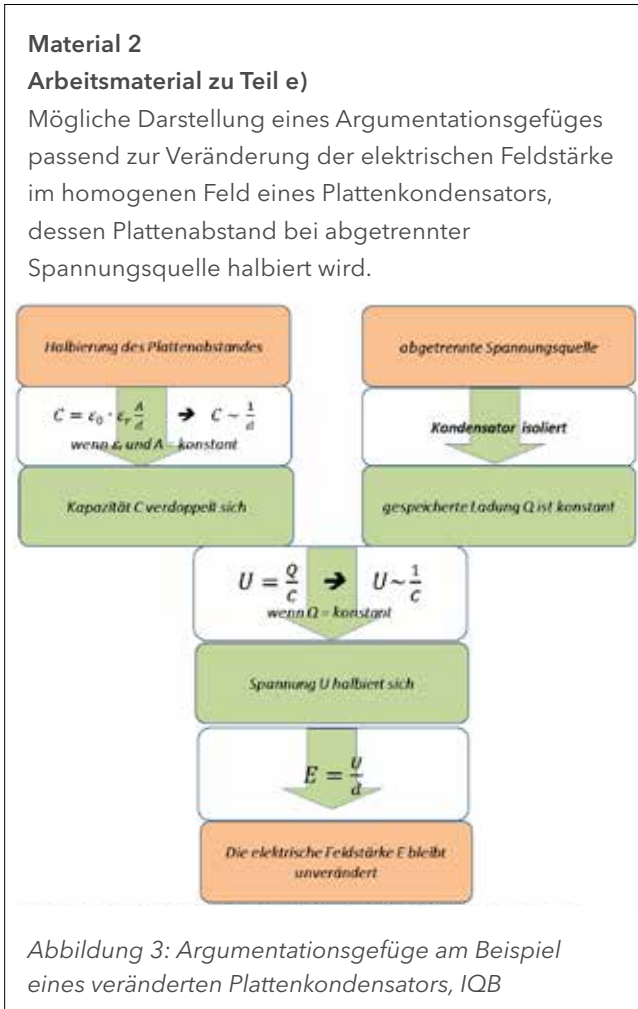
Argumentationsketten oder aus mehreren Ketten zusammengesetzte Argumentationsgefüge stellen die logische Struktur einer Argumentation dar. Dabei geht man von einer Ursache aus und kommt über eine Vermittlung zu einer Wirkung. Diese Wirkung kann selbst wieder eine Ursache sein. Die Vermittlung erfolgt beispielsweise über physikalische Modelle, Bedingungen oder Gesetzmäßigkeiten.

Die beobachteten Ursachen und Wirkungen des physikalischen Phänomens bilden Anfang und Ende von Teilketten eines Argumentationsgefüges. Sie sind hier orange dargestellt. Alle anderen Ursachen und Wirkungen sind grün markiert. Die Vermittlungen sind mit Pfeilen gekennzeichnet.

Vorlage für eine Argumentationskette zum Auseinanderschneiden:



Abbildung 2: Argumentationskette zum Auseinanderschneiden, IQB



Wirkung zu veranschaulichen. Die hier vorgeschlagene Darstellungsform der Argumentationsketten ermöglicht einen grafischen Überblick über relevante inhaltliche Argumente und deren Seitenstränge. Dies kann die Schülerinnen und Schüler darin unterstützen, die zu erlernenden Inhalte zu vernetzen und zu vertiefen. Solche Ketten können weiterhin helfen, Themen zu strukturieren und Lücken oder Sackgassen in der Argumentation (auch anderer Personen) aufzudecken.

Die Lernaufgabe dient dazu, dass die Schülerinnen und Schüler diese Darstellungsform kennenlernen und den Umgang mit Argumentationsketten weitgehend eigenständig erlernen. Die Struktur der Aufgabe lässt sich auf andere Phänomene übertragen.

Bewertungsraster für Nutzwertanalysen




Die Kompetenz, kriteriengeleitet Meinungen bilden und Entscheidungen treffen zu können, wird in den Fachanforderungen im Kompetenzbereich Bewertung durch die Standards B3 „Die Lernenden entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab.“ (KMK/IQB, 2020, S. 18) sowie B4 „Die Lernenden bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil.“ (KMK/IQB, 2020, S. 18) beschrieben. Ein Ziel des Bewertungsprozesses ist, sachgerechte Entscheidungen zu treffen, eine begründete Bewertung vorzunehmen und Handlungsoptionen abzuleiten.

Ausgangspunkt für den Unterricht sind Fragestellungen und Probleme, die über rein physikalische Fragestellungen hinaus gesellschaftlich relevant für einzelne Personen oder Gruppen sind. Die hier vorgestellte Methode der Nutzwertanalyse kann zur Entscheidungsfindung herangezogen werden:

Es wird die/der Lernende vor die Entscheidung gestellt, ob für eine anstehende Reise Auto, Fahrrad oder Zug genutzt werden sollte.

1. Entscheidungsalternativen festlegen (im Beispiel Auto, Fahrrad, Zug)
2. Bewertungskriterien festlegen (im Beispiel Reisedauer, Bequemlichkeit, Kosten, Umweltfreundlichkeit)
3. Gewichtungsfaktoren für jedes Bewertungskriterium festlegen und begründen (im Beispiel Reisedauer 30%, Bequemlichkeit 20%, Kosten 30%, Umweltfreundlichkeit 20%. Die Summe muss 100% beziehungsweise 1 ergeben.)
4. Bewertungsmaßstab festlegen (zum Beispiel optimale Erfüllung des Kriteriums = 5 Punkte, schlechteste Erfüllung des Kriteriums = 0 Punkte)
5. für jedes Kriterium alle Alternativen mit einem entsprechenden Punktwert (im Beispiel zwischen 0 und 5) bewerten und die Bewertung begründen
6. Gewichtung der einzelnen Punktwerte und anschließende Gesamtsumme für jede Alternative

Geeignet ist die Darstellung in Form einer Tabelle:

		Auto 		Fahrrad 		Zug 	
Kriterium	Gewicht	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Reisedauer	0.3	5	$5 \times 0.3 = 1.5$	0	$0 \times 0.3 = 0.0$	3	$3 \times 0.3 = 0.9$
Bequemlichkeit	0.2	5	$5 \times 0.2 = 1.0$	0	$0 \times 0.2 = 0.0$	4	$4 \times 0.2 = 0.8$
Kosten	0.3	0	$0 \times 0.3 = 0.0$	5	$5 \times 0.3 = 1.5$	1	$1 \times 0.3 = 0.3$
Umweltfreundlichkeit	0.2	0	$0 \times 0.2 = 0.0$	5	$5 \times 0.2 = 1.0$	3	$3 \times 0.2 = 0.6$
Gesamt	1.0		2.5		2.5		2.6

Quelle: In Anlehnung an Höttecke, 2013

Das Ergebnis der Analyse hängt dabei sowohl von der Einzelbewertung der Alternativen bezüglich der verschiedenen Kriterien als auch von der gewählten Gewichtung der Kriterien ab.

Das Verfahren kann nur in dem Maße zu begründeten Entscheidungen führen, in dem die Zuordnung der Zahlenwerte zu den einzelnen Alternativen und zu den Gewichtungen der Kriterien begründet ist beziehungsweise begründbar ist.

Die Differenzierung zwischen grundlegendem und erhöhtem Anforderungsniveau kann beispielsweise dahingehend gestaltet werden, dass auf grundlegendem Anforderungsniveau im Wesentlichen überprüft wird, ob die vorgegebene Nutzwertanalyse nachvollzogen werden kann, im erhöhten Anforderungsniveau die Nutzwertanalyse eher selbst gestaltet, perspektivisch ergänzt oder das Nutzwertverfahren an sich auf der Metaebene kritisch hinterfragt werden soll.

Quelle: Material 3 zur Lernaufgabe „Hochspannungslleitungen“ des IQB, abrufbar unter www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi_allg/physik, abgerufen am 28.06.2022.

Höttecke, D. (2013). *Bewerten – Urteilen – Entscheiden, Ein Kompetenzbereich des Physikunterrichts, Unterricht Physik 134, Hannover, Friedrich Verlag. S. 4-12*

Modellbildungskreislauf

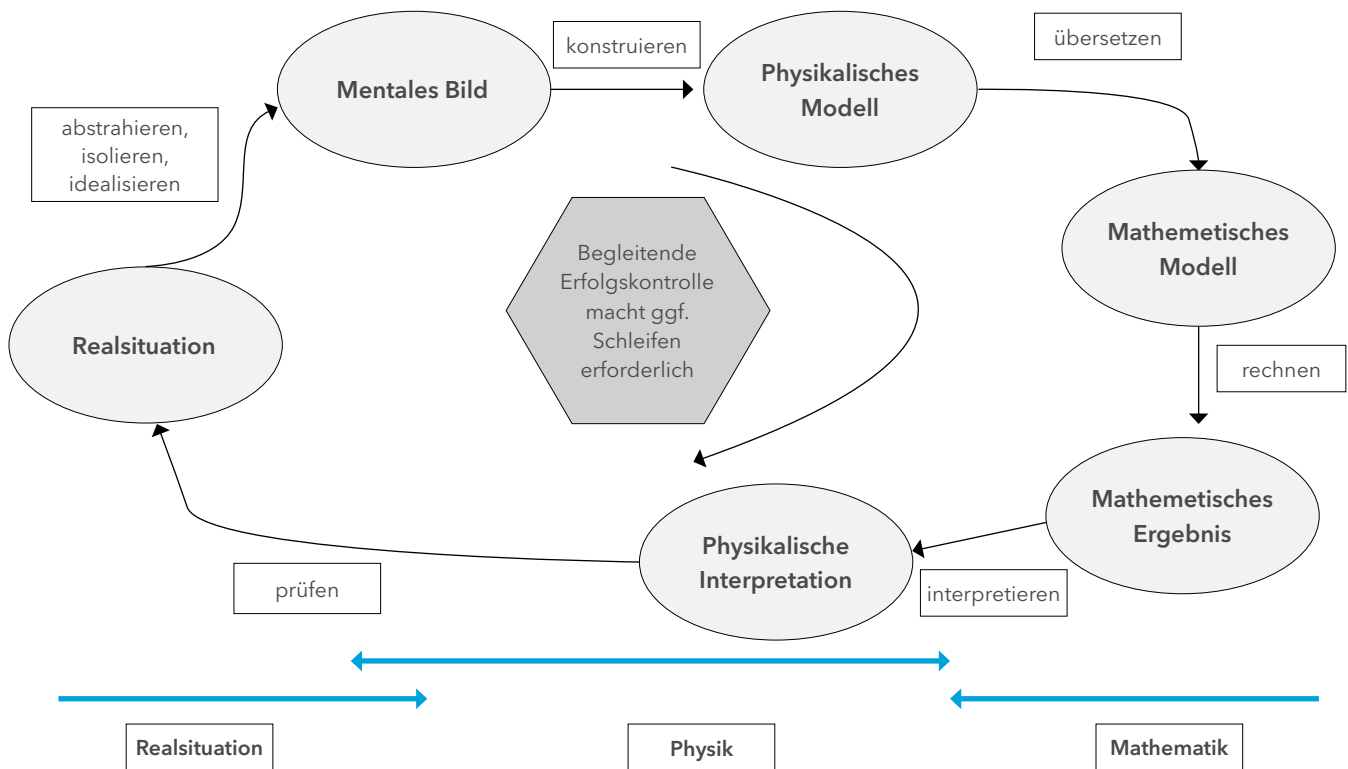
Um Physik zu begreifen, muss erlernt werden, Modelle und Theorien mithilfe von Verfahren und Experimenten zu überprüfen oder die Ergebnisse aus Experimenten mithilfe von Modellen und Theorien zu deuten (vergleiche Tesch und Duit, 2002). Es gibt also eine wechselseitige Beziehung von Modellen und Theorien zu Verfahren und Experimenten und ihren Ergebnissen (Feynman et al., 1963). Die Kompetenz, Phänomene zu modellieren und diese Modellierung zu reflektieren, spiegelt sich in mehreren Standards der Fachanforderungen Physik wider, vor allem im Bereich Erkenntnisgewinnung (Standards E4, E9, E10; siehe Fachanforderungen Physik, 2022, S. 45).

Die Lernaufgabe „Der Modellbildungskreislauf am Beispiel der Radaufhängung von Fahrzeugen“ (abrufbar unter www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi_allg/physik/, abgerufen am 28.06.2022) dient zum Kennenlernen des Modellbildungskreislaufs durch Schülerinnen und Schüler. Sie geht von einem alltäglichen Gegenstand, der Radaufhängung von Fahrzeugen, als Realsituation aus, die mit einfachen Mitteln sowohl in Schülerexperimenten als auch mithilfe von Rechentabellen modelliert werden kann. Der Modellbildungskreislauf wird darin an zwei Beispielen zur harmonischen Schwingung mit unterschiedlicher Dämpfung (Stoßdämpfer) durchlaufen. In Material 1 dieser Lernaufgabe wird das dabei zu durchlaufende Vorgehen wie folgt grafisch dargestellt:

In der ersten Teilaufgabe erarbeiten sich die Lernenden das Funktionsprinzip einer Radaufhängung. In den Teilaufgaben 2 und 5 beschäftigen sich die Lernenden anhand eigener Experimente mit der physikalischen Modellierung der Radaufhängung. Mit den Teilaufgaben 3 und 6 gehen die Lernenden den Schritt zur mathematischen Modellierung anhand einer Rechentabelle. Die Teilaufgaben 4 und 7 dienen der Auswertung des physikalischen und mathematischen Modells. Der Rückbezug auf die Realsituation erfolgt jeweils über den Vergleich der Modellierung mit den Messprotokollen zweier Stoßdämpfertests.

In Teilaufgabe 8 werden die durchlaufenen Arbeitsschritte der Darstellung des Modellbildungskreislaufs gegenübergestellt. Damit dies ertragreich ist, wurden zuvor jeweils am Schluss der meisten Teilaufgaben Aufträge eingefügt, die den Stand des Erreichten, gemessen an der Ausgangsfragestellung, prüfen. Diese letzte Teilaufgabe enthält den zentralen Lerninhalt, die vorangehenden Teilaufgaben dienen zur Erschließung des Kontexts, zur Bereitstellung erforderlichen Wissens und zur Illustration der Arbeitsschritte des Modellbildungskreislaufs.

Die Aufgabe bietet einige Differenzierungsmöglichkeiten. Den Erwartungshorizont sowie weitere didaktische Hinweise zum Einsatz dieser Aufgabe enthält das Material.



Grafische Darstellung des Modellbildungskreislaufs (Darstellung angelehnt an Trump 2015)

Literatur:

Feynman, R., Leighton, R., & Sands, M. (1963): The Feynman Lectures on Physics (Volume I). California Institute of Technology.

Tesch, M., & Duit, R. (2002): Zur Rolle des Experiments im Physikunterricht. Didaktik der Physik Frühjahrstagung Leipzig 2002.

Trump, S. (2015): Mathematik in der Physik der Sekundarstufe III!? Eine Benennung notwendiger mathematischer Fertigkeiten für einen flexiblen Umgang mit Mathematik beim Lösen physikalisch-mathematischer Probleme im Rahmen der Schul- und Hochschulbildung sowie eine systematische Analyse zur notwendigen Mathematik in der Physik der Sekundarstufe II. Universität Potsdam.

5 Durchgängige Sprachbildung im Physikunterricht

Die Schülerinnen und Schüler starten mit sehr unterschiedlichen Voraussetzungen in den naturwissenschaftlichen Unterricht: Neben dem unterschiedlichen Vorwissen differieren vor allem die sprachlichen Fähigkeiten enorm. Daher ist die durchgängige Sprachbildung eine Aufgabe aller Fächer (Fachanforderungen Physik, 2022, Kapitel 1.3).

Sprachebenen im Physikunterricht

Im Fach Physik wird Sprache benötigt, die sich deutlich von der Alltagssprache unterscheidet. Die Schülerinnen und Schüler sprechen im Unterricht zum Beispiel über ihre Beobachtungen zu einem Experiment und benutzen dabei zunächst die **Alltagssprache**. Diese ist kontextgebunden, da sich die Schülerinnen und Schüler unmittelbar äußern. Viele Bezüge werden durch Gesten hergestellt, wodurch Äußerungen häufig nur aus der Situation heraus verstanden werden können. Im Unterrichtsgespräch zur Beschreibung und Auswertung des Experiments ist das Sprechen der Schülerinnen und Schüler kontext- und situationsunabhängig und erfolgt damit auf einer anderen Sprachebene (Bildungssprache). Sie ist konzeptionell der Schriftlichkeit angenähert. Die Aussagen der Schülerinnen und Schüler sind eindeutig, die Sätze sind länger, vollständig, beinhalten viele Nomen und haben komplexe grammatische Strukturen. Werden zudem noch fachsprachliche Redewendungen, Fachbegriffe und Wissensschemata verwendet, so spricht man von **Fachsprache**.

Sprachebene	Beispiel
Alltagssprache	Das zeigt nach da.
Bildungssprache	Die Nadel zeigt immer nach Norden.
Fachsprache	Die magnetischen Feldlinien sind immer zum magnetischen Südpol ausgerichtet.

So wie etwas inhaltlich korrekt, aber sprachlich unpräzise sein kann, kann eine Aussage auch fachsprachlich korrekt,

aber inhaltlich unvollständig oder sogar falsch sein (siehe letzten Beispielsatz: die magnetischen Feldlinien enden zwar beim magnetischen Südpol, sind aber zum Beispiel beim Stabmagneten nicht immer direkt zum magnetischen Südpol ausgerichtet).

5.1 Methoden zur Unterstützung des Erwerbs der Bildungs- und der Fachsprache

Ziel des Unterrichts aller Fächer ist, dass sich die Schülerinnen und Schüler bildungs- und fachsprachlich ausdrücken können. Ausgehend von der Alltagssprache wird diese im Unterricht schrittweise durch die Bildungssprache ersetzt und es werden Vorstellungen zu den Bedeutungen der Fachbegriffe und der Fachsprache aufgebaut.

Leseförderung - Didaktisieren von Texten

Nach der PISA-Studie ist die Lesekompetenz eine entscheidende Qualifikation für den Schulerfolg. Daher müssen die Schülerinnen und Schüler dabei unterstützt werden, Lesestrategien zu erlernen und damit selbstständig die Inhalte von Texten zu erschließen.

Physikalische Fachtexte zeichnen sich häufig dadurch aus, dass sie neben einer Vielzahl von Fachbegriffen auch eine Häufung von **Schwierigkeiten auf der Wort-, Satz- und Textebene** (Weis 2013) enthalten. Dies können zum Beispiel zusammengesetzte Wörter (Komposita), fehlende Artikel (Nullartikel), Vor- und Nachsilben, Präpositionen, Passiv- und Partizipialkonstruktionen, verkürzte Nebensätze oder unpersönliche Ausdrucksweisen sein. Eine Häufung dieser Schwierigkeiten findet sich auch in Schulbüchern, die für den Anfangsunterricht Physik gedacht sind.

Anspruchsvolle Texte können entlastet werden, indem man **vor dem Lesen** gemeinsam über die Überschrift spricht oder ein dazugehöriges Bild betrachtet oder auch nach den Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler fragt; der Text der PISA-Aufgabe (siehe nachfolgende Seiten) wird beispielsweise eingesetzt, nachdem die Schülerinnen und Schüler den Treibhauseffekt schon kennengelernt haben. Auch sollten Schlüsselwörter besprochen und als Wortschatz zur Verfügung gestellt werden.

Während des Lesens sollten die Schülerinnen und Schüler begleitende Leseaufträge erhalten. Diese Aufträge sollen die Aufmerksamkeit auf den Hauptgedanken des Textes lenken und zunächst das globale, dann das gezielte und dann das detaillierte Verstehen in den Fokus nehmen. Statt also direkt im Anschluss an das Lesen nach nicht Verstandenem oder nach speziellen Details zu fragen, sollten das in den Fokus genommen werden, was verstanden wurde.

Zum Beispiel kann das gezielte Suchen nach Informationen dazu dienen, den Text zu überfliegen. Anschließend können zu jedem Abschnitt Stichwörter oder Sätze aufgeschrieben werden, Fragen gestellt werden, die man mithilfe des Textes beantworten kann, es kann etwas gezeichnet werden oder globale Aussagen beurteilt werden, um so den roten Faden des Textes zu erkennen. Bei längeren Texten kann abschnittsweise vorgegangen werden und beispielsweise zu jedem Abschnitt ein Satz geschrieben werden. Fragen zu Details helfen anschließend sicherzustellen, dass der Text auch im Detail verstanden wurde.

Nach dem Lesen geht es darum, die Textaussage in das vorhandene Wissensgerüst einzuordnen. Hierzu können beispielsweise Aussagen des Textes beurteilt oder eine Stellungnahme geschrieben werden.

Unterstützung im Unterrichtsgeschehen - Hören und Sprechen

Insbesondere im Unterrichtsgespräch hat die Lehrkraft die Rolle eines sprachlichen Vorbilds. Daher muss die Lehrkraft besonders darauf achten, langsam und verständlich zu sprechen, immer knapp oberhalb des Sprachstands der Schülerinnen und Schüler, so dass sie zwar stetig dazulernen, aber die Lehrkraft auch verstehen können. Die Aussagen der Lehrkraft und der Schülerinnen und Schüler können mit Gesten und Bildern unterstützt werden und indem Fachbegriffe oder neue Wörter (mit zugehörigem Artikel) an die Tafel geschrieben werden. Zur Beantwortung von Fragen empfiehlt es sich, den Schülerinnen und Schülern ausreichend Zeit für das Nachdenken zu geben, denn insbesondere Schülerinnen und Schüler mit sprachlichen Schwierigkeiten brauchen mehr Zeit, um sprachlich

produktiv zu werden. Äußerungen können durch Murrephasen, Partnerarbeit, Gruppenarbeit oder andere Methoden wie Think-Pair-Share vorbereitet werden. Hilfreich ist es auch, Aussagen wiederholen zu lassen, gegebenenfalls unter Verwendung von Fachwörtern. So sind mehr Schülerinnen und Schüler am Gespräch beteiligt, der Fachwortschatz wird trainiert und die Lehrkraft erhält ein klareres Bild, inwieweit die Inhalte verstanden und reproduziert werden können.

Vermittlung von Wortschatz - Wortschatzarbeit

Damit Wörter in den aktiven Wortschatz eingehen, müssen sie vielfältig gehört worden sein. Hiervon gibt es Ausnahmen, etwa wenn ein Wort fehlt und eine Umschreibung gesucht wird; hier hilft zur dauerhaften Speicherung mitunter eine einmalige Einsage des Wortes. Die notwendige Anzahl von Wiederholungen lässt sich auch bei der Einführung neuer Fachbegriffe reduzieren, wenn man die Schülerinnen und Schüler systematisch unterstützt (Neugebauer und Nodari, 2012; Abshagen, 2015). Nachdem man für eine Einheit geklärt hat (siehe oben), welche sprachlichen Herausforderungen zu bewältigen sind, kann man folgendermaßen den Wortschatzerwerb unterstützen:

- **Bedarf für einen neuen Begriff wecken:** Im Unterrichtsgespräch wird mithilfe von Alltagssprache ein Gegenstand, ein Vorgang, ein Experiment oder eine Handlung beschrieben, vorgeführt oder gezeichnet.
- **Gezieltes Üben** des neuen Wortschatzes: Die Schülerinnen und Schüler arbeiten nun eigenständig in Partner- oder Gruppenarbeit mit dem neuen Wortschatz. Sie führen beispielsweise Experimente durch, füllen Lückentexte aus oder formulieren Texte um. Dabei können die Schülerinnen und Schüler durch Mustersätze (Formulierungen für häufig benötigte Aussagen), Satzanfänge, Lückentexte, Wortlisten (Liste von Fachbegriffen mit Artikeln, fachsprachlichen Redewendungen, Verben), Wortgeländer (die wesentlichen Elemente eines Satzes werden im Nominativ beziehungsweise Infinitiv vorgegeben), Beispielsätze oder Satzbaukästen (Anordnen von Satzbausteinen, so dass ein sinnvoller Text entsteht) unterstützt werden.

- **Verwenden** des neuen Wortschatzes: Nun produzieren die Schülerinnen und Schüler Texte - das kann zunächst auch mündlich erfolgen -, in denen der Wortschatz nützlich ist, beispielsweise indem sie ein Protokoll anfertigen, einen Text kommentieren, eine Erklärung schreiben oder einen Lehrfilm drehen.

Da dem Schreiben von Protokollen in den Naturwissenschaften besondere Bedeutung zukommt, ist es günstig, sich unter den Fachschaften abzusprechen und eine gemeinsame Vorlage zu verfassen. An diesem Musterprotokoll können sich die Schülerinnen und Schüler dann orientieren. Auch kann es hilfreich sein, die Schülerinnen und Schüler mit gezielten Übungen zum Verfassen unpersönlicher Texte an das Schreiben von Protokollen heranzuführen (Krämer, 2011).

- **Reflektieren** des neuen Wortschatzes: Um den Wortschatz zu festigen und die Fachbegriffe zu vernetzen, können die Schülerinnen und Schüler zum Beispiel ein Glossar oder eine Concept-Map erstellen.

Wird der Fachwortschatz regelmäßig abgeprüft, in kleinen Vokabeltests, durch Beschriften von Abbildungen, Benennen von Fachbegriffen oder in mündlicher Form (Kopfaufgaben, siehe Abshagen, 2015), in spielerischer Form als Kreuzworträtsel oder als Tabuspiel, das die Schülerinnen und Schüler selbst erstellen, so wird den Schülerinnen und Schüler vermittelt, dass der Fachwortschatz Teil des Fachlernens ist.

5.2 Beispiel zur Sprachförderung

In der ab Seite 45 folgenden Tabelle werden die Phasen des Wortschatzerwerbes beispielhaft für die Behandlung des Treibhauseffektes im Physikunterricht konkretisiert. Dieser Ausführung liegt als Originaltext die folgende Aufgabe aus der PISA-Studie (vergleiche OECD, 2007) zugrunde, auf die im weiteren Verlauf Bezug genommen wird.

Beispielaufgabe der PISA-Studie:

Lies die Texte und beantworte die folgenden Fragen.

DER TREIBHAUSEFFEKT: TATSACHE ODER ERFINDUNG?

Lebewesen benötigen Energie, um zu überleben. Die Energie, die das Leben auf der Erde erhält, stammt von der Sonne. Diese strahlt auf Grund ihrer enormen Hitze Energie ins All ab. Ein winziger Teil dieser Energie erreicht die Erde.

Die Atmosphäre der Erde wirkt wie eine schützende Decke über der Oberfläche unseres Planeten und verhindert Temperaturschwankungen, die es in einer luftlosen Welt geben würde.

Ein Großteil der eintreffenden Sonnenenergie dringt durch die Erdatmosphäre hindurch. Die Erde nimmt einen Teil dieser Energie auf, und ein Teil wird von der Erdoberfläche zurückgestrahlt. Diese zurückgestrahlte Energie wird teilweise von der Atmosphäre aufgenommen.

Als Folge davon ist die durchschnittliche Temperatur über der Erdoberfläche höher als sie es wäre, wenn es keine Atmosphäre gäbe. Die Erdatmosphäre hat denselben Effekt wie ein Treibhaus, deshalb der Ausdruck Treibhauseffekt. Der Treibhauseffekt soll sich im 20. Jahrhundert verstärkt haben.

Tatsache ist, dass die durchschnittliche Temperatur der Erdatmosphäre angestiegen ist. In Zeitungen und Zeitschriften wird als Hauptgrund des Temperaturanstiegs im 20. Jahrhundert oft die erhöhte Kohlenstoffdioxidemission angegeben.

Der Schüler André beginnt, sich für den möglichen Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Temperatur der Erdatmosphäre und der Kohlendioxidemission auf der Erde zu interessieren.

In einer Bibliothek findet er die beiden folgenden grafischen Darstellungen.



André schließt aus diesen zwei grafischen Darstellungen, dass der Anstieg der durchschnittlichen Temperatur der Erdatmosphäre ganz sicher auf die Zunahme der Kohlenstoffdioxidemission zurückzuführen ist.

Frage 3: TREIBHAUSEFFEKT

Welches Merkmal der grafischen Darstellungen stützt Andrés Schlussfolgerung?

Frage 4: TREIBHAUSEFFEKT

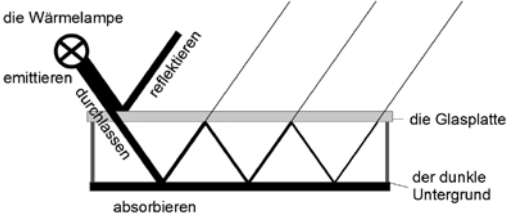
Janine, eine andere Schülerin, ist mit Andrés Schlussfolgerung nicht einverstanden. Sie vergleicht die zwei Graphen und sagt, dass einige Abschnitte der grafischen Darstellungen seine Schlussfolgerung nicht stützen.

Gib ein Beispiel eines Abschnitts der grafischen Darstellungen, der Andrés Schlussfolgerung nicht stützt. Erkläre deine Antwort.

Frage 5: TREIBHAUSEFFEKT

André besteht auf seiner Schlussfolgerung, dass der Anstieg der durchschnittlichen Temperatur der Erdatmosphäre durch die Zunahme der Kohlenstoffdioxidemission verursacht werde. Doch Janine ist der Meinung, diese Schlussfolgerung sei verfrüht. Sie sagt: „Bevor du diese Schlussfolgerung annimmst, musst du sicher sein, dass andere Faktoren, die den Treibhauseffekt beeinflussen könnten, konstant sind.“

Nenne einen der Faktoren, die Janine meint.

Phase des Wortschatzerwerbs	Konkretisierung								
<p>Sprachbedarfsanalyse der Einheit: Welcher Wortschatz soll vermittelt werden?</p>	<p>erwärmen, transportieren, die Atmosphäre, die Strahlung, die Strahlungsenergie, ausstrahlen, aufheizen, reflektieren (zurückstrahlen), die Reflexion, die Absorption, absorbieren, Kohlenstoffdioxid (CO₂), die Emission, emittieren (ausstoßen), das Treibhausgas, der Treibhauseffekt, das Klima, die Infrarotlampe</p> <p>[Hier wird davon ausgegangen, dass Wärme, Energie, Wärmeenergie und Temperatur bereits bekannt sind.]</p>								
<p>Welche Texte kommen vor?</p>	<p>Informationstexte auf Internetseiten, Zeitungsausschnitte, Text aus PISA-Aufgabe (siehe oben), Lehrbuchtexte</p>								
<p>Welche sprachlichen Strukturen treten auf?</p>	<p>Beschreibungen von Prozessketten (zum Beispiel Konditional- und Kausalsätze, Begründungen, wenn - dann - Beziehungen, je - desto - Beziehungen, ...)</p>								
<p>Einführung des neuen Wortschatzes</p>	<p>Anhand eines Schülerexperimentes und einer beschrifteten Skizze werden die Fachbegriffe eingeführt.</p> <p>Experiment: Mit einer Infrarotlampe wird ein Glaskasten bestrahlt, der einen dunklen Untergrund besitzt; die Temperatur innerhalb und außerhalb des Glaskastens wird gemessen.</p> <div style="text-align: center;">  <p>die Wärmelampe emittieren reflektieren durchdringen absorbieren die Glasplatte der dunkle Untergrund</p> <p><i>Mit einer Infrarotlampe bestrahlter Glaskasten mit dunklem Untergrund (eigene Darstellung)</i></p> </div>								
<p>Üben des Wortschatzes</p>	<p>Schülerinnen und Schüler beschreiben das Experiment (mündlich) und fertigen ein Protokoll an (schriftlich).</p> <p>Sie übertragen den Versuch auf die Erde und ihre Atmosphäre (erst in einer Murmelphase, dann im Unterrichtsgespräch, anschließend schriftlich).</p> <p>Mögliche exemplarische Hilfestellungen bei diesen Aufgaben:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wortliste: siehe den Fachwortschatz, der oben aufgelistet ist, bei Bedarf ergänzt um bekannte Fachbegriffe; • Wortgeländer: Wärmelampe - Strahlung - emittieren • Satzbaukasten (Wörter müssen zu Sätzen verbunden werden): <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Die Wärmelampe</td> <td style="width: 33%;">absorbiert</td> <td style="width: 33%;">die Wärmestrahlung.</td> </tr> <tr> <td>Die Glasplatte</td> <td>emittiert</td> <td rowspan="2">einen Teil der Wärmestrahlung.</td> </tr> <tr> <td>Der dunkle Untergrund</td> <td>reflektiert</td> </tr> </table>	Die Wärmelampe	absorbiert	die Wärmestrahlung.	Die Glasplatte	emittiert	einen Teil der Wärmestrahlung.	Der dunkle Untergrund	reflektiert
Die Wärmelampe	absorbiert	die Wärmestrahlung.							
Die Glasplatte	emittiert	einen Teil der Wärmestrahlung.							
Der dunkle Untergrund	reflektiert								
<p><i>Fortführung der Tabelle »</i></p>									

Phase des Wortschatzerwerbs	Konkretisierung
	<ul style="list-style-type: none"> • Mustersätze: Eine Lichtquelle emittiert Strahlung. • Satzanfänge: Die Wärmelampe emittiert ... • Lückentexte: Ein Teil der _____ wird durch die Glasplatte _____, ein großer Teil der Wärmestrahlung wird _____. <p>Schülerinnen und Schüler vergleichen eigene Beschreibungen des Treibhauseffektes mit Texten aus einer Zeitung oder aus dem Internet. Sie analysieren:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inhaltlich: Wo finden sich die selbst formulierten Aussagen inhaltlich in den anderen Texten wieder? Welche zusätzlichen Informationen enthalten die anderen Texte? • Sprachlich: Welche Begriffe und Redewendungen können synonym verwendet werden?
Nutzen des Wortschatzes	<p>Schülerinnen und Schüler bearbeiten die PISA-Aufgabe (siehe oben). Je nach Lerngruppe können Hilfestellungen/Erklärungen gegeben werden, zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nullartikel: Lebewesen benötigen Energie • Redewendungen (zusätzlich als Teil eines Relativsatzes): Energie, die das Leben ... erhält (im Gegensatz zu „Energie von der Sonne erhalten“ oder „Energie bleibt erhalten“) • schriftsprachliche Ausdrücke: enorme Hitze, eine Schlussfolgerung stützen • Synonyme: durchdringen (statt durchlassen), luftlos (statt luftleer); Zunahme/Erhöhung der Kohlendioxidemission und Anstieg der Temperatur (drei synonyme Begriffe, die aber im Text paarweise verwendet werden) • Verwendung des Genitivs: Welches Merkmal der grafischen Darstellung ..., Hauptgrund des Temperaturanstiegs • verschachtelte Genitive: der Anstieg der durchschnittlichen Temperatur der Erdatmosphäre; eines Abschnitts der grafischen Darstellungen; der Anstieg der durchschnittlichen Temperatur der Erdatmosphäre • Komposita: Lebewesen, Temperaturschwankungen, Sonnenenergie, Erdatmosphäre, Erdoberfläche, Kohlenstoffdioxidemission • Verben mit Vorsilben (trennbar): durchdringen, dringt durch ... hindurch, nimmt ... auf, angeben, zurückzuführen, (untrennbar) verhindern • verkürzter Nebensatz: deshalb der Ausdruck Treibhauseffekt • Gebrauch des Konjunktiv: geben würde, wäre, gäbe • Partizipialkonstruktion: der eintreffenden Sonnenenergie, zurückgestrahlte Energie • Fachwörter: die Atmosphäre, die Graphen, der grafischen Darstellungen (zusätzlich im Genitiv) • Bezugswörter: Gib ein Beispiel eines grafischen Anstiegs, der ... (zusätzlich im Genitiv)
<i>Fortführung der Tabelle »</i>	

Phase des Wortschatzerwerbs	Konkretisierung												
	<p>Durch das Experiment und die anschließenden Arbeitsaufträge findet die inhaltliche und lexikalische Vorentlastung statt. Die begleitenden Leseaufträge können - je nach Lerngruppe - ergänzt werden, zum Beispiel für den ersten Textabschnitt durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • farbiges Markieren oder Unterstreichen: Markiere alle physikalischen Fachbegriffe gelb. Unterstreiche die Begriffe rot, für die du einen Fachbegriff kennst und notiere den Fachbegriff am Rand (Beispiel: aussenden - emittieren). • mit einem Bild lesen: Betrachte ein Bild vom Treibhauseffekt. Lies dann den Text. Suche die Informationen im Text, die du im Bild wiederfindest. • Stichworte notieren: Notiere dir zu jedem Absatz ein Stichwort, das dir wichtig erscheint. • detaillierte Aussagen beurteilen: Kreuze die richtige Antwort an: <table border="1" data-bbox="395 965 1426 1144"> <thead> <tr> <th></th> <th>richtig</th> <th>falsch</th> <th>steht nicht im Text</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Die Atmosphäre schützt die Erde wie eine Decke.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>22,5 % der Wärmestrahlung wird an der Atmosphäre reflektiert.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		richtig	falsch	steht nicht im Text	Die Atmosphäre schützt die Erde wie eine Decke.				22,5 % der Wärmestrahlung wird an der Atmosphäre reflektiert.			
	richtig	falsch	steht nicht im Text										
Die Atmosphäre schützt die Erde wie eine Decke.													
22,5 % der Wärmestrahlung wird an der Atmosphäre reflektiert.													
Reflexion des Wortschatzes	Die Schülerinnen und Schüler legen ein Glossar zum Thema Treibhauseffekt an. Dabei müssen die Erklärungen keine fachsprachlichen Definitionen sein, sondern sollen von Schülern selbst so formuliert werden, dass sie auch später mit diesen Begriffen arbeiten können.												

Literatur

Abshagen, M. (2015): Praxishandbuch Sprachbildung Mathematik. Sprachsensibel unterrichten - Sprache fördern. Ernst Klett Sprachen, Stuttgart.

Apelthauer, E. (2010): Wortschatzentwicklung und Wortschatzarbeit. In: Winfried, U. (Hrsg.) Deutschunterricht in Theorie und Praxis, Hohengehren, S. 239ff.

Krämer, S. (2011): Der Walsumer Fachsprachentag: Protokolle schreiben, https://www.uni-due.de/imperia/md/content/prodaz/fachsprachentag_protokolle_schreiben.pdf, abgerufen am 12.07.2022.

Neugebauer, C., & Nodari, C. (2012): Förderung der Schulsprache in allen Fächern. Praxisvorschläge für Schulen in einem mehrsprachigen Umfeld. Kindergarten bis Sekundarstufe I. Bern: Schulverlag plus.

Neugebauer, C. (2006): Grundlagen Didaktisierung. Netzwerk SIMS, Sprachförderung in mehrsprachigen Schulen, Institut für Interkulturelle Kommunikation, Zürich (www.netzwerk-sims.ch/wp-content/uploads/2013/08/grundlagen_didaktisierung.pdf, abgerufen am 28.06.2022).

OECD (2007), PISA 2006: Schulleistungen im internationalen Vergleich. Naturwissenschaftliche Kompetenzen für die Welt von morgen, W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld.

Weis, I. (2013): DaZ im Fachunterricht, Sprachbarrieren überwinden - Schüler erreichen und fördern. Verlag an der Ruhr.

6 Digitale Medien im Physikunterricht

Die Förderung der Medienkompetenz ist integraler Bestandteil aller Fächer. Mit der Veröffentlichung des Strategiepapiers „Bildung in der digitalen Welt“ vom 08.12.2016 der Kultusministerkonferenz werden alle Fächer verpflichtet, ihren Beitrag zum Erwerb von Medienkompetenz zu leisten. Deshalb werden im Folgenden am Beispiel des Tablets Möglichkeiten aufgezeigt, digitale Medien im Physikunterricht didaktisch sinnvoll einzusetzen. Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig – und vielleicht liegt gerade dort der Hauptvorteil zu anderen Geräten. Hinweise zum digitalen Unterrichten findet man auch im Fachportal des IQSH. Ob die Schule Tablets in ausreichender Zahl zur Verfügung stellt (Tablet-Koffer) oder die Geräte von zuhause mitgebracht werden (Bring Your Own Device) oder vom Schulträger gestellt werden, ist nicht Gegenstand dieser Ausführungen. Die meisten Aspekte sind mit leichten Einschränkungen auch auf den Einsatz von Smartphones oder Notebooks übertragbar.

Versuchsprotokolle mit Fotos und Filmen

Versuchsergebnisse lassen sich mit einer Präsentationssoftware aufbereiten und der Klasse vorstellen. Dabei ist die Einbeziehung von eigenen Fotos, Videos oder Graphen aus einer Tabellenkalkulation sinnvoll. Zusätzlich sind aber auch spezielle Anwendungen wie Zeitlupe, Zeitraffer, Videoanalyse, Actionsequenzen oder Rückwärtsvideos möglich.

Tonanalyse und -synthese

Für Tablets gibt es vielfältige Handwerkzeuge zur Akustik. Klänge können angezeigt und in ihre Frequenzen zerlegt werden. Andererseits gibt es einfache Signalgeneratoren mit deren Hilfe man zum Beispiel Schwebungen oder den Dopplereffekt einfach beobachten kann.

E-Book-Funktion

Jede Textdatei eignet sich zur Wiedergabe auf dem Tablet. Das ermöglicht nicht nur das Einsparen an Kopierkosten, sondern es lassen sich auch regelmäßig wissenschaftliche Artikel oder andere Lesetexte an die Schülerinnen und Schüler weitergeben. Viele Schulbuchverlage erlauben zudem den temporären Down-

load des aktuellen Schulbuchs auf das Schülertablet – ein kleiner Beitrag zur Gewichtsreduktion der Schultasche.

Lehrfilme und Animationen

Lehrfilme und Animationen können das Lernen unterstützen. Beim Einsatz von Tablets kann dieser Prozess individualisiert werden. Anstatt mit der ganzen Klasse eine Animation anzusehen, kann diese bei Bedarf innerhalb einer Unterrichtseinheit abgerufen werden.

Interaktive Simulationen

Interaktive Simulationen können den Lernprozess sicher unterstützen, dürfen aber nicht das eigentliche Experiment ersetzen. In einer idealisierten Umgebung können Parameter manipuliert werden. Auch hier ist der enorme Vorteil zur Präsentation vor der Klasse die mögliche Individualisierung. Jede Schülerin und jeder Schüler „experimentiert“ (wenn auch nur virtuell) selbst. Gute interaktive Simulationen findet man frei verfügbar und plattformunabhängig auf der Webseite von zum Beispiel LEIFI (<https://www.leifiphysik.de/>, abgerufen am 12.07.2022) oder PHET (<https://phet.colorado.edu/de/>, abgerufen am 12.07.2022) oder als Apps.

Interaktive Experimente

Einige Experimente lassen sich über das Internet fernsteuern (Remotely Controlled Laboratory - RCL). Hier werden zum Teil schwer oder gar nicht durchführbare Experimente individuell erfahrbar gemacht. Parameter können variiert und die Ergebnisse ausgewertet werden.

Messgerät mit internen oder externen Sensoren

Jedes Tablet verfügt je nach Ausführung über eine Reihe von internen Sensoren. Das sind neben Kamera und Mikrophon meist Beschleunigungs-, Magnetfeld- und Drucksensoren. Zudem gibt es einige Anbieter, die zusätzliche externe Sensoren anbieten, die meist drahtlos an das Tablet gekoppelt werden. Vom pH-Meter bis zum Geiger-Müller-Zähler ist alles verfügbar. Auch Fitnessarmbänder erfassen Daten, die im Physikunterricht ausgewertet werden können. Spezielle Apps können alle Sensoren auslesen und in eine Tabelle exportieren. Dies kann dann mithilfe einer Tabellenkalkulation ausgewer-

tet werden. Hier sind die Anwendungsmöglichkeiten vielfältig. Ein spezieller Sensor ist die Infrarotkamera, die inzwischen erschwinglich geworden ist und an das Tablet angeschlossen werden kann.

Erweiterter Taschenrechner

Letztlich lässt sich jedes Tablet auch mit einem wissenschaftlichen Taschenrechner, einem Computer-Algebra-System und einem dynamischen Geometrieprogramm ausstatten. Hinzu kommt eine meist vorinstallierte Tabellenkalkulation. Alle diese Hilfsmittel können erheblich zum Kompetenzaufbau beitragen, insbesondere, wenn ihr Gebrauch in den Schulalltag integriert wird und nicht jedes Mal ein Gang in den Computerraum geplant werden muss.

7 Diagnose und Bewertung im Physikunterricht

Die Fachanforderungen Physik nennen ein breites Spektrum an Aspekten zur Bewertung von Leistungen der Schülerinnen und Schülern. Bei der Leistungsbewertung sollen alle vier Kompetenzbereiche und die drei Anforderungsbereiche berücksichtigt werden. Ein besonderes Merkmal des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist dabei die Bewertung experimenteller Fähigkeiten. Im Folgenden werden ergänzend zu den in den Fachanforderungen genannten Aspekten einige Beispiele zur Umsetzung dieser Forderungen für die Sekundarstufen I und II gegeben.

7.1 Präsentationen

Eine Präsentation kann mithilfe eines Rasters beurteilt werden. Im Folgenden ist ein Beispiel hierfür dargestellt.

Die einzelnen Aspekte werden für eine summative Bewertung unterschiedlich gewichtet. Empfehlenswert sind schulinterne fächerübergreifende Bewertungskriterien, die situationsgerecht ergänzt und verändert werden müssen.

Thema: _____ Referent/in: _____ Datum/Dauer: _____	trifft voll zu	trifft überwiegend zu	trifft weniger zu	trifft kaum zu
Art des Vortrags:				
Das Thema und die Gliederung wurden zu Beginn vorgestellt.				
Der Vortrag wurde frei gehalten.				
Der Vortrag war akustisch gut zu verstehen.				
...				
Inhalt des Vortrags:				
Das Referat wurde klar und logisch strukturiert.				
Die Einleitung in das Thema ist gelungen.				
Die Darstellung war sachlich richtig.				
Die Darstellung war verständlich und nachvollziehbar.				
Das Referat enthält sinnvolle eigene Bewertungen und Ideen.				
Das Referat war in Teilen fachlich tiefgehend (Anforderungsbereich III).				
Wesentliche Inhalte/Ergebnisse des Referats wurden zusammengefasst.				
(Vorhersehbare) Fragen konnten korrekt beantwortet werden.				
...				
Organisatorisches, Medien und Experimente:				
Der zeitliche Rahmen wurde eingehalten.				
Der Umgang mit der eingesetzten Technik war souverän und sicher.				
Der Einsatz der Medien war angemessen.				
Beim Experimentieren wurde Eigeninitiative gezeigt.				
Beim Experimentieren sind eigene Fragestellungen einbezogen worden.				
...				

7.2 Experimentelle Leistungen in Selbst-, Partner- und Lehrerdiagnose

Eine Besonderheit des naturwissenschaftlichen Unterrichts ist das praktische Arbeiten, insbesondere in experimentellen Lernarrangements. Die Beurteilung von Schülerleistungen gehört somit auch für experimentelle Situationen zu den alltäglichen Aufgaben von Lehrkräften im Physikunterricht. Dabei müssen die Beurteilungskriterien von Beginn an den Schülerinnen und Schülern transparent gemacht werden. Empfehlenswert ist, die Schülerinnen und Schüler in den Prozess der Festlegung der Beurteilungskriterien mit einzubeziehen, da die vereinbarten Kriterien dann gleichzeitig als Orientierungsrahmen für die folgende Unterrichtseinheit dienen und damit die Schülerinnen und Schüler gleichzeitig fördern und fordern. Darüber hinaus wird die Lehrkraft in der Gestaltung

von differenzierendem Unterricht entlastet, wenn sich die Schülerinnen und Schüler bereits während der Lernsituation in Selbst- oder Partnerdiagnose Feedback über ihren Lernstand geben.

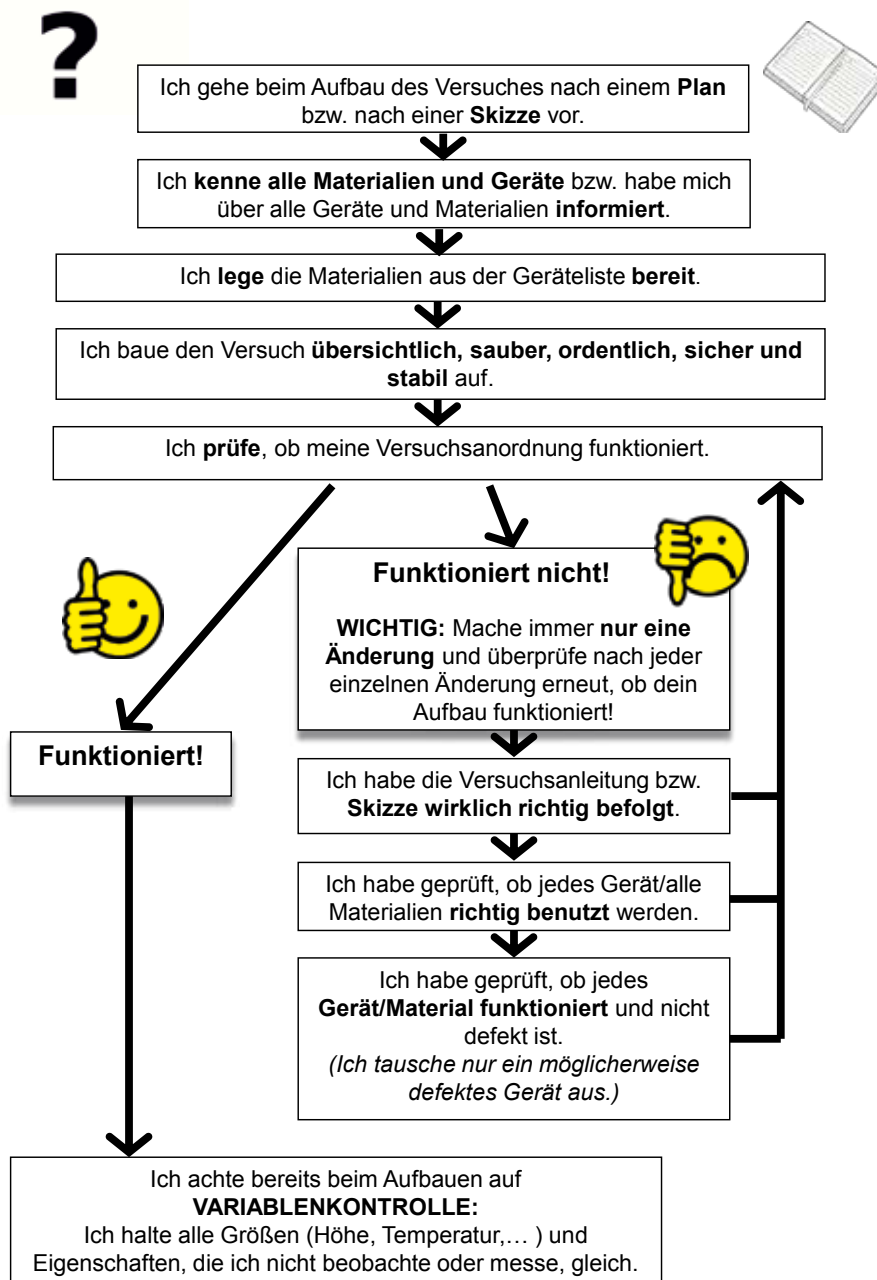
Die folgende Graphik gibt einen beispielhaften Überblick zum Thema Geschwindigkeit (Mechanik, Sekundarstufe I), in welchen Situationen während einer Unterrichtsreihe welche Formen der Beurteilung geeignet sind. Sie ist am Prozessmodell für kompetenzorientierte Lehr-Lernprozesse (Bauch et al., 2011) orientiert, das auf Qualitätskriterien für Unterricht basiert, wie sie im „Hessischen Referenzrahmen Schulqualität“ formuliert wurden (Schreder und Brömer, 2009) und berücksichtigt insbesondere die Selbststeuerung und die Metakognition im Lernprozess. Der Lernende steht im Zentrum des Prozesses, die Planung und Durchführung orientiert sich an dessen individuellen Voraussetzungen.



Darstellung des Prozessmodells für kompetenzorientierte Lehr-Lern-Prozesse am Beispiel der Darstellung von Bewegungen

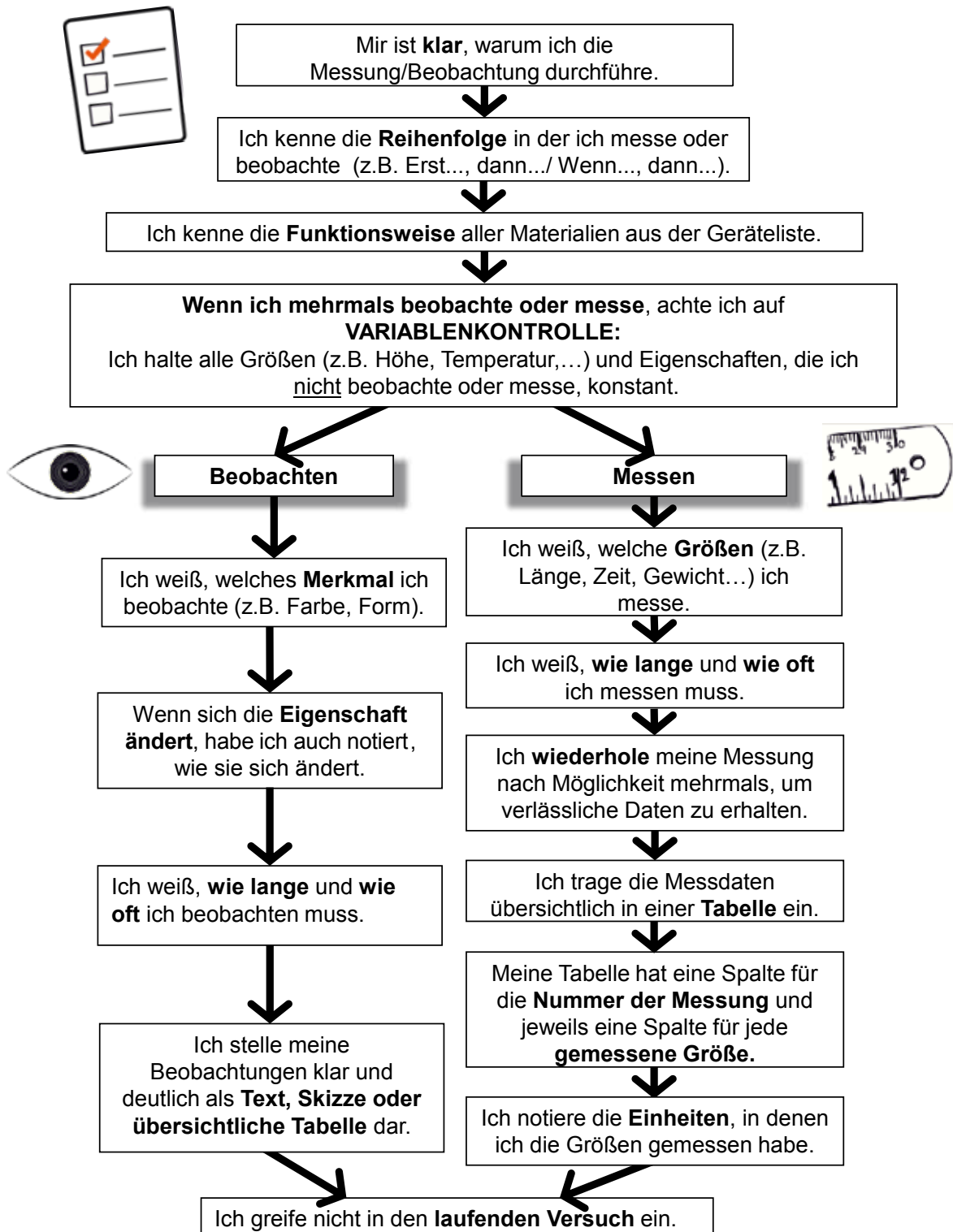
Insbesondere Kriterienraster zur Selbst- und Fremddiagnose ermöglichen dabei einen zeitlich effizienten Einsatz und damit eine Kultur der gegenseitigen Rückmeldung und Förderung. Die in den Fachanforderungen Physik genannten prozessbezogenen Kompetenzen bieten

hierzu einen Anhaltspunkt für die Erstellung. Auch liegen hierzu schon gestufte Modelle zur differenzierten Leistungsbewertung vor.¹⁰ Im Folgenden befinden sich einige Beispiele von Kriterienrastern oder Checklisten, die für Lehrerhand beziehungsweise Schülerhand geeignet sind.

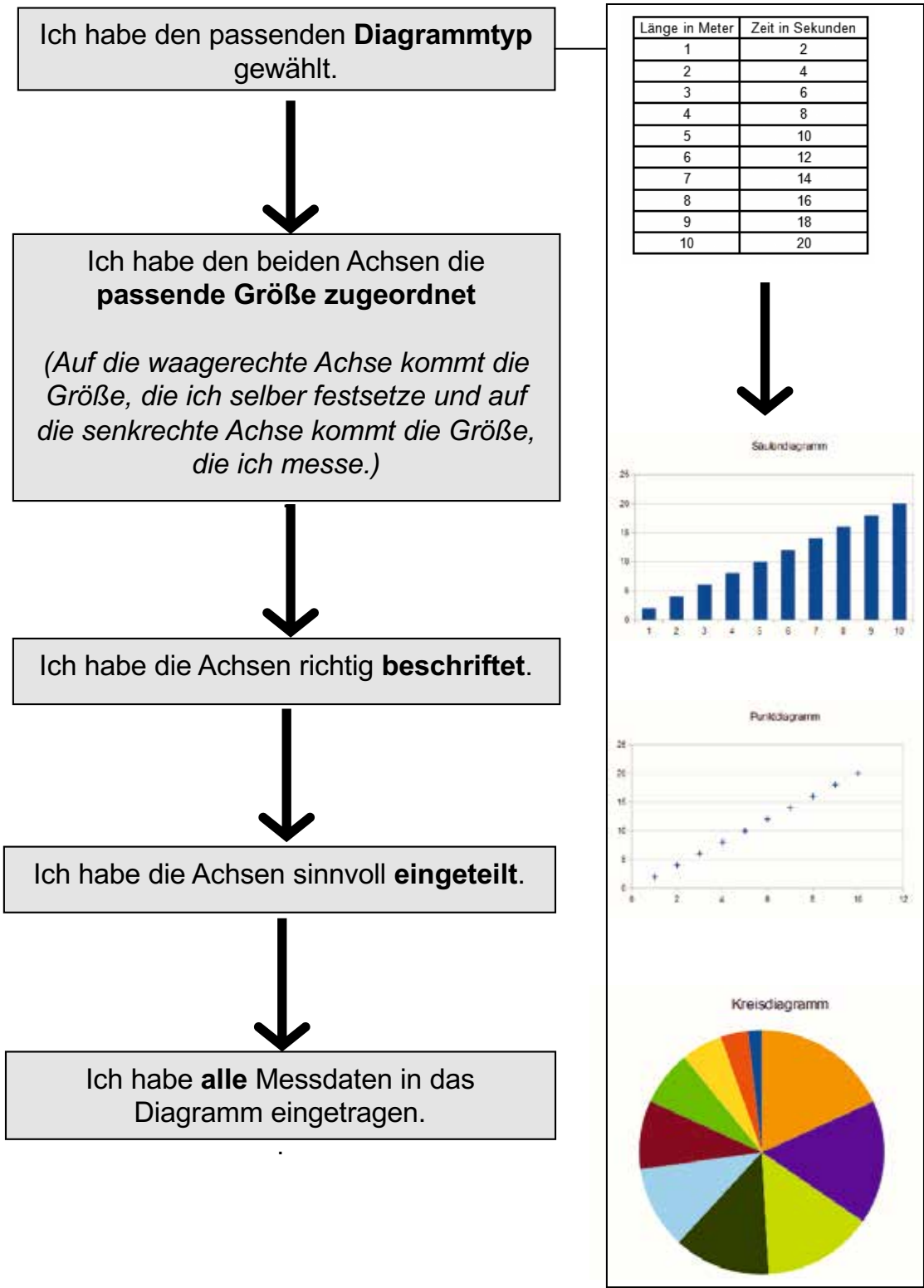


Checkliste „Versuch funktionsfähig aufbauen“ (in Anlehnung an Tomczyszyn, S. 27)

¹⁰ Vergleiche auch Kompetenzstufenmodell des IQB zu den Kompetenzbereichen Fachwissen und Erkenntnisgewinnung.



Checkliste „Messen / Beobachten / Dokumentieren“ (in Anlehnung an Tomczyszyn, S. 30)



Checkliste „Daten aufbereiten“ (in Anlehnung an Tomczyszyn, S. 38)

Teilkompetenz	Stufe	Deskriptoren
Fragestellungen entwickeln und Idealisierungen vornehmen	2	Sinnvolle Fragestellung, die <ul style="list-style-type: none"> • mit den verfügbaren experimentellen Mitteln untersucht werden kann, • zielgerichtet ist und • sich auf das zugrundeliegende naturwissenschaftliche Phänomen bezieht.
	1	Prinzipiell sinnvolle Fragestellung, die <ul style="list-style-type: none"> • mit gegebenen experimentellen Mitteln nicht oder nur unzureichend untersucht werden kann oder • sich ausschließlich auf der Ebene der Beschreibung des Phänomens befindet.
	0	<ul style="list-style-type: none"> • keine Fragestellung vorhanden oder • Fragestellung ohne sachlichen Bezug zum Thema oder • keine verwertbare Fragestellung (Problem nicht erfasst)
Hypothesen formulieren	2	• Hypothesen mit elaborierter sachlicher Begründung (ohne Notwendigkeit fachlicher Richtigkeit)
	1	• Vermutung mit unvollständiger Begründung oder ad-hoc-Annahmen
	0	• keine/unbegründete Vermutung oder Vermutung mit unzusammenhängender Begründung
Experimente und Untersuchungen planen	2	• voll ausgearbeiteter und realisierbarer Versuchsplan, der zur Klärung der Aufgabenstellung dient
	1	• Versuchsplan mit erkennbarem Zusammenhang zur Aufgabenstellung, aber ungenaue Beschreibung des Vorgehens (Aufbau und/oder Durchführung in Teilen unvollständig beschrieben) oder nicht realisierbar
	0	• kein nachvollziehbarer Versuchsplan erkennbar oder Versuchsplan ohne erkennbarem Zusammenhang zur Aufgabenstellung
Versuch funktionsfähig aufbauen	2	• funktionsfähige Versuchsanordnung, die eigenständig aufgebaut wurde
	1	• funktionsfähige Versuchsanordnung, die mit geringer externer Hilfe aufgebaut wurde
	0	<ul style="list-style-type: none"> • fehlerhafte bzw. • unvollständige Versuchsanordnung und • Schüler erkennt Probleme nicht und fragt nicht nach Hilfe

Fortführung der Tabelle »

Teilkompetenz	Stufe	Deskriptoren
Beobachten, Messen, Dokumentieren	2	<ul style="list-style-type: none"> • vollständige und zielgerichtete Beobachtung (zeitliche Abfolge, erkannter Ursache-Wirkungszusammenhang) und • korrekte und gut dokumentierte Messungen
	1	<ul style="list-style-type: none"> • unvollständige Beobachtung oder Beobachtungen / Messungen / Dokumentationen • mit einzelnen fehlerhaften Werten
	0	<ul style="list-style-type: none"> • keine/falsche Beobachtungen/Messungen • unsystematische, sporadische, wenig zielgerichtete, unvollständige und in der Reihenfolge unsinnige, schlecht dokumentierte Beobachtung oder Messung • Beobachtung verfehlt das Thema
Daten aufbereiten	2	• korrekte und sachgerechte Datenaufbereitung
	1	• nicht sachgerechte oder fehlerhafte Datenaufbereitung
	0	• kein sachgerechter Ansatz für Datenaufbereitung
Schlüsse ziehen, dokumentieren	2	• Rückbezug der Ergebnisse auf Ausgangsfragestellung mit elaborierter Begründung, die auch im Diskurs vertreten wird
	1	• Rückbezug der Ergebnisse auf Ausgangsfragestellung mit wenig differenzierter Begründung der Schlüsse
	0	• keine Bezugnahme auf Ausgangsfrage oder Hypothese, keine oder grob unangemessene Schlüsse

Kompetenzstufen der sieben Teilkompetenzen (nach Nawrath, Maisyenka, & Schecker, S. 48)

7.3 Gleichwertige Leistungsnachweise in der Sekundarstufe II

In der Sekundarstufe II ist es nach derzeitiger Erlasslage in Absprache mit der Schulleitung und den anderen Fachschaften möglich, vereinzelt Klassenarbeiten durch gleichwertige Leistungsnachweise zu ersetzen. Bei einem gleichwertigen Leistungsnachweis ist sicherzustellen, dass die individuelle Leistung bewertet wird, was gut möglich ist, wenn die Leistung innerhalb der Unterrichtszeit und nicht als Hausaufgabe erbracht wird. Für gleichwertige Leistungsnachweise gelten ebenfalls die in den Fachanfor-

derungen genannten Aspekte, insbesondere müssen die Bedingungen für die einzelnen Schülerinnen und Schüler vergleichbar sein und Leistungen in allen drei Anforderungsbereichen gefordert werden.

Das folgende Beispiel zeigt einen experimentellen gleichwertigen Leistungsnachweis, der im Rahmen einer Doppelstunde von allen Schülerinnen und Schülern gleichzeitig erbracht wird. Die unterrichtlichen Voraussetzungen sind dabei wie folgt: Die Schülerinnen und Schüler modellieren im Vorfeld die Beugung am Spalt geometrisch und symbolisch-algebraisch und untersuchen in einem Experiment die Interferenz von Laserlicht am Gitter

(Spurrillenabstand einer CD/DVD). Zu diesem Experiment entwickeln die Schülerinnen und Schüler während der Durchführung ein Bewertungsraster (vergleiche folgendes Beispiel), welches einerseits als Zielorientierung für das Versuchsprotokoll zu dem Experiment mit CD/DVD, andererseits als Erwartungshorizont während des Leistungsnachweises dient. Empfehlenswert ist es, dieses Beurteilungsraster gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern zu entwickeln. In diesen Prozess eingebunden werden sollte auch die Entscheidung, wie die Gewichtung durch Punkte erfolgt. So kann eine Kultur der transparenten gegenseitigen Beurteilung etabliert werden.

Darüber hinaus dürfen die Schülerinnen und Schüler alle eigenen Unterlagen aus dem Unterricht (keine Kopien von Mitschülern oder Schulbüchern) sowie Taschenrechner und Formelsammlung als Hilfsmittel verwenden. Dies verschiebt den Schwerpunkt in der Vorbereitungszeit vom (Auswendig-) Lernen der Unterrichtsinhalte hin zu einer sorgfältigen Organisation vorhandener Materialien und damit verbunden zu einer Restrukturierung und Vernetzung vorhandenen Wissens.

Die Aufgabenstellung während des gleichwertigen Leistungsnachweises lautet wie folgt:

Das Babinet'sche Prinzip besagt, dass das Beugungsbild eines Einzelspalt es dem Beugungsbild eines schmalen Hindernisses (zum Beispiel eines Drahtes) gleicher Breite entspricht.

1. Beschreiben Sie die Interferenz von Licht an einem schmalen Hindernis in einem geometrischen Modell. Leiten Sie daraus eine Formel zur Bestimmung der Breite des Hindernisses bei bekannter Wellenlänge des Lichtes her.
2. Bestimmen Sie experimentell die Dicke eines Ihrer Haare. Dokumentieren Sie Ihre Vorgehensweise.

Die Schülerinnen und Schüler nutzen dazu einen vorbereiteten experimentellen Aufbau (Laserlicht, Stativhalterung) sowie ein DIN-A3 Papier zum Abzeichnen des Interferenzmusters. Die Entfernung zwischen Stativhalterung und Schirm wird von der Lehrkraft gemessen und mitgeteilt. Das eigene Haar wird zu Beginn auf eine Halterung ge-

klebt, so dass jeder nur kurz sein Haar in die Stativhalterung einsetzen und das Interferenzmuster am Schirm auf sein DIN-A3-Papier übertragen kann. Hierfür wird in der Regel weniger als eine Minute pro Schülerin oder Schüler benötigt; die Lehrkraft kann gegebenenfalls assistieren. Während dieser Zeit kann Aufgabe 1 bereits bearbeitet werden, so dass eine Doppelstunde als Bearbeitungszeit ausreichend ist.

Da den Schülerinnen und Schülern alle Aufzeichnungen zur Beugung am Einzelspalt zur Verfügung stehen, liegt der Schwerpunkt der Aufgabe 1 in den Anforderungsbereichen I und II. Da ebenfalls ein Musterprotokoll zum vorherigen Experiment zur Verfügung steht, liegt auch der Schwerpunkt von Aufgabe 2 im Anforderungsbereich II. Die Vernetzung vorhandenen Wissens sowie Anwendung auf die neue experimentell zu lösende Aufgabe fordert die Schülerinnen und Schüler auch im Anforderungsbereich III.

Der gleichwertige Leistungsnachweis wird von der Lehrkraft gemäß folgendem Bewertungsraster korrigiert. Es wird empfohlen, die Kompetenzstufen „trifft voll zu“, „trifft überwiegend zu“, ... jeweils mithilfe einer kurzen Beschreibung zu konkretisieren.

	trifft voll zu	trifft überwiegend zu	trifft teilweise zu	trifft nicht zu
Aufbau				
Die Ausarbeitung enthält alle wesentlichen Teile eines Versuchsprotokolls.				
Die Darstellung ist sprachlich präzise und verständlich.				
Die äußere Erscheinung ist ordentlich und strukturiert.				
Problemformulierung				
Mithilfe des Babinet'schen Prinzips wird Beugung am Hindernis analog zur Beugung am Einzelspalt gedeutet.				
Es werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen Beugung am Spalt und Beugung am Hindernis benannt.				
Versuchsbeschreibung				
Es werden alle Materialien und deren Anordnungen zur Versuchsdurchführung genannt.				
Das Interferenzmuster ist präzise abgezeichnet und eindeutig beschriftet (Hauptmaximum, Nebenmaxima).				
Mindestens sechs Abstände von Nebenmaxima zum Hauptmaximum (drei Messwerte falls Abstände zwischen n-ten Maxima links und rechts betrachtet werden) werden aus dem Interferenzmuster nachvollziehbar und exakt entnommen.				
Berechnung				
Anhand eines geometrischen Modells werden Maxima als konstruktive Interferenz und Minima als destruktive Interferenz von Wellenbergeln bzw. Wellentälern erläutert.				
Anhand einer geeigneten Skizze werden Beziehungen zwischen Winkeln und Abständen für Maxima 1., 2. und 3. Ordnung veranschaulicht.				
Die Breite eines Haares wird anhand von mindestens sechs (bzw. drei, falls Symmetrien betrachtet werden) verschiedenen Maxima korrekt und schlüssig als Mittelwert bestimmt.				
Auswertung				
Über die quadratisch gemittelte Abweichung vom Mittelwert findet eine Fehlerbetrachtung statt.				
Sinnvolle Ursachen für mögliche Abweichungen vom Mittelwert werden benannt.				
Die Breite eines Haares wird sinnvoll gerundet als Ergebnis inklusive Abweichung angegeben.				

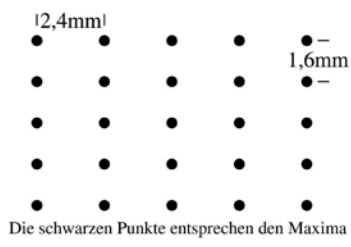
7.4 Experimentelle Klausuraufgaben

Auch im künftigen Zentralabitur sind experimentelle Aufgaben (fachpraktische Aufgaben) vorgesehen. Daher wird empfohlen, auch in Klausuren experimentelle Aufgabenstellungen zu berücksichtigen. Das Experiment kann in einem Demonstrations- oder einem Schülerexperiment bestehen.

Das folgende Beispiel zeigt eine Aufgabe mit experimentellem Anteil. In der ersten Spalte der Tabelle findet sich

die den Schülerinnen und Schülern vorgelegte Aufgabe, die zweite Spalte enthält eine mögliche Zuordnung der verwendeten Operatoren zu den Kompetenzen und Anforderungsbereichen, wie sie für die Punkteverteilung für die einzelnen Aufgaben zu bedenken ist. Die Einordnung in die Anforderungsbereiche ist abhängig vom Vorunterricht und hier nur beispielhaft zu sehen. Die hier gewählte Darstellungsweise dient der Übersicht und entspricht nicht der äußeren Form, in der die Aufgaben eingereicht werden.

Aufgaben (Hilfsmittel: Tafelwerk, wissenschaftlicher Taschenrechner)	Operatoren, Zuordnung zu Kompetenzen und Anforderungsbereichen:
<p>1) Ihnen stehen für ein Interferenzexperiment ein Laserpointer mit einer unbekanntem Wellenlänge λ, ein Gitter mit 600 Strichen pro mm, ein Halter für das Gitter, eine Mattscheibe und ein Lineal zur Verfügung.</p> <p>Erklären Sie einen Versuchsaufbau zur Ermittlung der Wellenlänge des Lasers anhand einer Skizze.</p> <p>Leiten Sie mit Hilfe Ihrer Skizze eine exakte Formel zur Berechnung der Wellenlänge aus den Versuchsdaten her $\left[\text{Zwischenergebnis: } n \cdot \lambda = g \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{a_n}{l}\right)\right) \right]$ und ermitteln Sie die Wellenlänge mit einem geeigneten Versuch.</p>	<p>Erklären, Herleiten (Fachkenntnisse, Fachmethoden, Anforderungsbereich I), Ermitteln (Fachmethoden, Anforderungsbereich II). Erwartet werden eine Skizze mit einem erklärenden Text, die Herleitung der gegebenen Formel anhand der Skizze und die Durchführung des Experiments mit Ermittlung der Wellenlänge.</p>
<p>2) Jetzt werden anstelle des Gitters aus Aufgabe 1 zwei unbekannte Gitter hintereinander in den Halter gespannt und mit einem Laser der Wellenlänge $\lambda = 633 \text{ nm}$ bestrahlt.</p> <p>Die Abbildung zeigt das entstehende Interferenzbild.</p> <p>Erklären Sie das Zustandekommen eines solchen Bildes (Skizze, Text). Berechnen Sie die Gitterkonstanten der beiden Gitter.</p> <p>Erklären Sie Veränderungen des Interferenzbildes,</p> <ul style="list-style-type: none"> • wenn man die Gitter gemeinsam auf der Wand des Trogs dreht, • wenn man die Gitter zueinander mit beliebigem Winkel verdreht, • wenn man einen grünen Laser verwenden würde. 	<p>Erklären (Fachkenntnisse, Kommunikation, Anforderungsbereich II), Berechnen (Fachmethoden, Anforderungsbereich I), Erklären (Fachkenntnisse, Fachmethoden, Kommunikation, Anforderungsbereich II).</p> <p>Erwartet werden eine Skizze mit erklärendem Text, die Berechnung der Gitterkonstanten der beiden Gitter mit Hilfe der in Aufgabe 1 ermittelten (bzw. gegebenen) Formel und die Analyse bei der Veränderung der Gitterstellungen bzw. der Laserlichtwellenlänge.</p>
<p><i>Fortführung der Tabelle »</i></p>	



Aufgaben (Hilfsmittel: Tafelwerk, wissenschaftlicher Taschenrechner)	Operatoren, Zuordnung zu Kompetenzen und Anforderungsbereichen:
<p>3) Der Laser soll nun durch eine punktförmige Halogenlampe ersetzt werden, die Licht des gesamten Spektrums von $\lambda = 450 \text{ nm}$ bis $\lambda = 800 \text{ nm}$ auf das Gitter aus Aufgabe 1 wirft.</p> <p>Analysieren Sie abhängig von den Wellenlängen und den Ordnungszahlen, wie das entstehende Interferenzbild auf der Mattscheibe aussehen wird.</p>	<p>Analysieren (Fachkenntnisse, Fachmethoden, Kommunikation, Anforderungsbereich II).</p> <p>Erwartet wird die Analyse des entstehenden Interferenzbildes inklusive einer Aussage zur Überlappung der Interferenzen unterschiedlicher Ordnungen.</p>
<p>4) Es wird nun vorausgesetzt, dass der Abstand zwischen dem Gitter und der Mattscheibe 1m beträgt und dass dieser Zwischenraum mit Wasser aufgefüllt wird.</p> <p>Untersuchen Sie, wie sich das Interferenzbild bei Verwendung des Lasers mit $\lambda = 633 \text{ nm}$ durch diese Wasserfüllung im Vergleich zum Experiment an Luft verändert und beurteilen Sie, ob mit oder ohne Wasserfüllung mehr Maxima auf der Mattscheibe zu sehen sind (Die Frequenz des Lichts ist unabhängig vom Medium.).</p>	<p>Untersuchen (Fachkenntnisse, Fachmethoden, Kommunikation, Anforderungsbereich III), Beurteilen (Fachkenntnisse, Fachmethoden, Kommunikation, Anforderungsbereich I und Reflexion, Anforderungsbereich III).</p> <p>Erwartet werden eine selbstständige Untersuchung unter Einbeziehung der Lichtbrechung am Übergang unterschiedlicher Medien, die Erarbeitung der wesentlichen Zusammenhänge mithilfe des Tafelwerks und die anschließende Beurteilung anhand einer Berechnung auf Basis der dargestellten Zusammenhänge.</p>

Literatur

Bauch, W., Maitzen, C., & Katzenbach, M. (2011): Auf dem Weg zum kompetenzorientierten Unterricht - Lehr- und Lernprozesse gestalten. Ein Prozessmodell zur Unterstützung der Unterrichtsentwicklung. Zu beziehen über das Amt für Lehrerbildung - PR und Publikationen - Rothwestener Str. 2-14, 34233 Fulda.

IQB (2013): Kompetenzstufenmodelle zu den Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss; Entwurf für die Kompetenzbereiche „Fachwissen“ und „Erkenntnisgewinnung“. IQB, Berlin, Stand 29. Oktober 2013.

Nawrath, D., Maiseyken, V., & Schecker, H. (2011): Experimentelle Kompetenz - Ein Modell für die Unterrichtspraxis. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, Heft 6/60, 42-48.

Schreder, G., & Brömer, B. (2009): Lehren und Lernen. Erläuterungen und Praxisbeispiele zum Qualitätsbereich VI des Hessischen Referenzrahmens Schulqualität. Institut für Qualitätsentwicklung. Wiesbaden.

Tomczyszyn, E. (2011): Entwicklung und Evaluation von Lernarrangements zur modellbasierten Förderung experimenteller Kompetenz, Masterarbeit, Universität Bremen 2011.

8 Physikunterricht im Spannungsfeld zwischen Vorbereitung auf das Zentralabitur und Berücksichtigung individueller Interessen von Lernenden und Lehrenden

Mit der Einführung des Zentralabiturs im Fach Physik kommt auf die Unterrichtenden die Frage zu, wie nun der Schwerpunkt des eigenen Unterrichts gesetzt werden sollte. Bisher war es den Lehrkräften aufgrund des individuell konzipierten Abiturs einfacher möglich, unter Beachtung der Fachanforderungen eigene Schwerpunkte im Unterricht zu setzen und damit persönliche Erfahrungen, Bereicherungen und Interessen in den Unterricht zu integrieren. Das Zentralabitur sollte nicht dazu führen, dass man sich bei der Planung zu stark an den zu erwartenden Prüfungsaufgaben orientiert („teaching to the test“), sodass die oben genannte Individualisierung des Unterrichts darunter leidet.

Insbesondere auch der Physikunterricht lebt von der Begeisterungsfähigkeit der Lehrenden für ihr Fach. Nur, wenn es gelingt, diese Begeisterung auch auf die Schülerinnen und Schüler zu übertragen, findet ein Unterricht statt, der die in den Bildungsstandards für den Physikunterricht in der Sekundarstufe II geforderten Kompetenzen nachhaltig vermittelt. Zu einem solchen Unterricht gehören insbesondere die Identifizierung der Lehrerin beziehungsweise des Lehrers mit dem Fach und damit auch die persönliche Note.

Um sich im Spannungsfeld Zentralabitur mit oder trotz individuellen Unterrichts zu orientieren, bietet das Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (IQB) den Lehrenden Beispielaufgaben an, die einerseits die in den Bildungsstandards geforderten Kompetenzen illustrieren und andererseits einen Rahmen schaffen, der Raum für interessanten Physikunterricht lässt und gleichzeitig Orientierung gibt.

Die Aufgaben finden sich auf der Homepage des IQB (www.iqb.hu-berlin.de, abgerufen am 28.06.2022). Sie sind in zwei Kategorien unterteilt: Lernaufgaben zu den Bildungsstandards und Abituraufgaben.

Die Lernaufgaben (www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi_allg/physik, abgerufen am 28.06.2022) geben Beispiele für die Umsetzung eines Physikunterrichts, der die Bildungsstandards berücksichtigt. Sie illustrieren einerseits, wie Aufgaben zum Erlernen der Kompetenzen aufgebaut sein können und andererseits ermöglichen sie das Erlernen der Kompetenzen selbst. Über das Menü ist es möglich, sich Aufgabenbeispiele zu den einzelnen Kompetenzen und Niveaus anzeigen zu lassen.

Beispielsweise ergibt die Auswahl (Sachkompetenz (S7), Erkenntnisgewinnungskompetenz (E2), mit experimentellem Anteil und Nutzung digitaler Werkzeuge) unter anderen die Aufgabe „Bestimmung der Elementarladung“. Diese Aufgabe gehört auch bislang zum Standardunterricht in der Sekundarstufe II. Hilfreich für den Unterrichtenden beziehungsweise die Unterrichtende ist aber nun, dass diese Aufgabe hinsichtlich der zu fördernden Kompetenzen analysiert wurde. Diese sind vor der Aufgabenstellung aufgeführt, so dass es möglich ist, die Kompetenzen mit der Aufgabenstellung abzugleichen und zu lernen, wie das Vermitteln einzelner Kompetenzen mithilfe bestimmter Aufgabenformulierungen gelingen kann. Man wird dabei feststellen, dass sich in den Beispielaufgaben viele Komponenten des bisherigen Unterrichts wiederfinden und dass es manchmal nur einer kleinen Formulierungsveränderung bedarf, um die Aufgabenstellung an die neuen Bildungsstandards und damit an die Vermittlung der geforderten Kompetenzen anzupassen. Genauso dienen die Beispiele als Vorlage für das Erstellen eigener kompetenzorientierter Aufgabenstellungen. Damit ist es möglich, auch die eingangs erwähnten individuellen Schwerpunkte so zu vermitteln, dass die geforderten Kompetenzen von den Schülerinnen und Schülern erlernt werden können. Der Bereich Lernaufgaben auf der Homepage des IQB enthält weitere Aufgabenbeispiele mit Analyse, Aufgabenstellungen mit vollständigem Material und Lösungen, die die unterschiedlichen Kompetenzen illustrieren und vermitteln, wie diese in den Unterricht einfließen können.

Die Fachanforderungen für Physik sind abschlussbezogen formuliert. Das bedeutet, dass die Schülerinnen und

Schüler zum Ende ihrer Schullaufbahn mit dem Abitur die genannten Kompetenzen erworben haben sollten. In der Abiturprüfung werden diese Kompetenzen anhand der fachlichen Inhalte in problemorientierten Aufgaben geprüft. Daher ist es notwendig, dass die Schülerinnen und Schülern diese bis zum Ende der Sekundarstufe II erwerben. Dies geschieht, wie oben dargestellt, unter anderem durch das Bearbeiten kompetenzorientierter Aufgaben. Für zentrale Prüfungsaufgaben, die mit dem Abitur die geforderten Kompetenzen prüfen, finden sich auf der Homepage des IQB Beispiele im Bereich Abituraufgaben. Ebenso wie bei den oben beschriebenen Lernaufgaben ist es möglich, sich über ein Menü Aufgaben zu bestimmten Kompetenzschwerpunkten anzeigen zu lassen. Passend zu den Aufgaben finden sich in den entsprechenden Lösungen, die im jeweiligen Aufgabenteil neben den fachlichen Inhalten geprüften Kompetenzen. Die aufgeführten Beispiele illustrieren, wie zentral gestellte Aufgaben in Physik formuliert sein könnten, und bieten Anregungen zur Formulierung von kompetenzorientierten Aufgaben in Klausuren.

Insgesamt ist es möglich, den Physikunterricht auch im Licht des Zentralabiturs abwechslungsreich, interessant und wie oben beschrieben individuell zu gestalten. Dabei können bestehende Unterrichtskonzepte genutzt beziehungsweise angepasst werden. Mithilfe der Beispielaufgaben des IQB gelingt es, den Physikunterricht so zu gestalten, dass nicht das Lernen für das Abitur im Mittelpunkt des Unterrichts steht, sondern den Schülerinnen und Schülern ermöglicht wird, die Freude am Fach und seinen Arbeitsweisen in unterschiedlichen Kontexten zu erleben.

9 Möglichkeiten zum Aufbau des Curriculums in der Oberstufe

Die Fachanforderungen Physik lassen in der Oberstufe Freiraum sowohl in der Reihenfolge als auch in der Ausgestaltung der verbindlichen Inhalte. Innerhalb der Fachschaft werden Beschlüsse zu Reihenfolge, Dauer und Umfang von Unterrichtseinheiten getroffen (siehe Fachanforderungen, 2022, Teil III, Kapitel 4).

In den Fachanforderungen ist festgelegt, dass die Mechanik im Umfang auf ein Schulhalbjahr in der Einführungsphase zu beschränken ist (siehe Fachanforderungen, 2022, Teil III, Kapitel 3 und Leitfaden, 2022, Teil II, Kapitel 3). Über die Reihenfolge der übrigen Themen entscheidet die Fachkonferenz. Die Fachanforderungen legen fest, dass dies in Form eines Spiralcurriculums erfolgt (siehe Fachanforderungen, 2022, Teil III, Kapitel 3).

Im Anschluss an die Mechanik gibt es verschiedene Möglichkeiten, die Inhalte sinnvoll anzuordnen. Als Anregung werden im Folgenden zwei Beispiele aufgeführt. Dabei wurden alle verbindlichen Inhalte berücksichtigt und in eine sachlogische Reihenfolge gebracht und zum Teil mit *zusätzlichen Inhalten* (kursiv) angereichert. Natürlich sind auch andere Varianten sinnvoll und möglich.

Erstes Beispiel zum Aufbau eines Curriculums:

Im Zentrum des zweiten Halbjahres der Einführungsphase steht die Behandlung optischer Wellen. Die dazu nötigen charakteristischen Größen werden nur kurz anhand mechanischer Schwingungen und Wellen eingeführt, um sie dann auf optische Wellen anwenden zu können. Die Qualifikationsphase beginnt mit der Gegenüberstellung von Gravitation und elektrischem Feld. Der Übergang zur Quantenphysik erfolgt in diesem Beispiel im Kontext von Sternspektren. Der astronomische Kontext könnte nach der Quantenphysik im Rahmen der Relativitätstheorie und/oder Kosmologie wieder aufgegriffen werden.

Einführungsphase - 2. Halbjahr

- Mechanische Schwingungen
- Eigenschaften und Ausbreitungen von Wellen
- Überlagerung von Wellen (Einführung)

Qualifikationsphase I

- Das Feldkonzept zur Beschreibung von Wechselwirkungen
- Körper in statischen Feldern

- Veränderliche elektromagnetische Felder
- Überlagerung von Wellen (Weiterführung)
- Spektren (*inklusive Einführung in die Astrophysik*)

Qualifikationsphase II

- Quantenobjekte
- Atomvorstellungen
- *Elemente der Relativitätstheorie*
- *Kosmologie*

Zweites Beispiel zum Aufbau eines Curriculums:

Elektrische Felder in der Einführungsphase bringen die erste Anwendung der Mechanik auf Elementarteilchen. Anhand der speziellen Relativitätstheorie wird ein kurzer erster Ausblick in die moderne Physik unternommen. Im ersten Jahr der Qualifikationsphase werden zunächst Bewegungen in Feldern untersucht. Es schließen sich optische Wellen an. Das zweite Jahr der Qualifikationsphase beginnt in diesem Beispiel mit einer kontextorientierten Einheit zur Sonnenphysik, in die Inhalte Wellen und Quanten eingebettet sind. Die Quantenphysik schließt den Unterrichtsgang ab.

Einführungsphase - 2. Halbjahr

- Das Feldkonzept zur Beschreibung von Wechselwirkungen (elektrische Felder)
- Körper in statischen Feldern (elektrische Felder)
- *Elemente der Relativitätstheorie*

Qualifikationsphase I

- Das Feldkonzept zur Beschreibung von Wechselwirkungen (zusätzlich magnetische Felder)
- Körper in statischen Feldern (zusätzlich magnetische Felder)
- Veränderliche elektromagnetische Felder
- Mechanische Schwingungen
- Eigenschaften und Ausbreitungen von Wellen
- Überlagerung von Wellen
- Spektren (Farben, elektromagnetisches Spektrum)

Qualifikationsphase II

- Spektren (*im Kontext der Sonne*)
- Atomvorstellungen
- Quantenobjekte
- *Sonnenphysik*

IV Das schulinterne Fachcurriculum

Die Fachanforderungen geben mit ihren verbindlich formulierten Grundsätzen einen Rahmen für den Unterricht im Fach Physik vor. Dieser Rahmen wird von der Fachschaft Physik an jeder Schule unter Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten ausgestaltet.

Im schulinternen Fachcurriculum werden die konkreten Absprachen und Vereinbarungen der Fachschaft für den Unterricht in Hinblick auf die in Kapitel 4 der Fachanforderungen dargestellten Aspekte dokumentiert. Damit trägt die Fachschaft für das Fach Physik zur Erfüllung der Vorgaben des Schulgesetzes über notwendige Verständigungsprozesse und gemeinsame Zielsetzungen an der Schule bei. Zugleich werden die Ergebnisse dieses Verständigungsprozesses für neue Lehrkräfte, Eltern und andere Mitglieder der Schulgemeinschaft transparent dargestellt.

Die Arbeit am schulinternen Fachcurriculum ist als fortwährender Erarbeitungs- und Evaluationsprozess zu verstehen, bei dem der Diskussions- und Verständigungsprozess innerhalb der Fachschaft im Zentrum steht.

Dazu gehören:

- die Verständigung auf gemeinsam angestrebte Unterrichtsergebnisse/Kompetenzerwartungen
- die Konkretisierung der fachbezogenen Medienkompetenz
- die Verständigung auf didaktische Konzeptionen
- die inhaltliche Konkretisierung der Ziele in Unterrichtseinheiten
- die Verpflichtung auf Einhaltung der Absprachen
- die regelmäßige Überprüfung und Weiterentwicklung

Das schulinterne Fachcurriculum ist als Ergänzung zu den Fachanforderungen zu verstehen. Es umfasst die an der Schule zu regelnden Aspekte. Eine Wiedergabe oder gar eine Ausweitung der Fachanforderungen ist nicht intendiert.

Das Fachcurriculum der Schule kann dem hier vorgeschlagenen Aufbau folgen, dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich. Zu den einzelnen Abschnitten werden (unvollständige) Beispiele formuliert, die als Anregung dienen sollen.

Mögliche Gliederung:

1. Reihenfolge, Zeitpunkt und Dauer der Unterrichtseinheiten
2. Vereinbarungen zu einzelnen Unterrichtseinheiten
3. Fachsprache
4. Fördern und Fordern
5. Medien, Lehr- und Arbeitsmaterialien
6. Hilfsmittel
7. Leistungsbewertung
8. Überprüfung und Entwicklung des schulinternen Fachcurriculums

1 Reihenfolge, Zeitpunkt und Dauer der Unterrichtseinheiten

Sekundarstufe I

Jahrgang	Themen
6	<ul style="list-style-type: none"> · Energie: Qualitativer Energiebegriff (ca. 6 Stunden) · Elektrizitätslehre: Einfache elektrische Stromkreise (ca. 12 Stunden) · ... · ·
7	<ul style="list-style-type: none"> · · · · ·
8	<ul style="list-style-type: none"> · · · Elektrizitätslehre: Stromstärke und Spannung (ca. ... Stunden) · ·
9	<ul style="list-style-type: none"> · · · · ·
10	<ul style="list-style-type: none"> · · · · · ·

Sekundarstufe II

(Unterricht nur in der Einführungsphase)

Jahrgang	Themen
Einführungsphase	<p>Mögliche Kontexte:</p> <ul style="list-style-type: none"> · klimafreundliche Mobilität (Brennstoffzelle, grüner Wasserstoff, darin fünf Unterrichtsstunden zur Kinematik und Dynamik ...) · Astrophysik (Beugung, Linienspektren, Dopplereffekt ...) · ...

Sekundarstufe II

Jahrgang	Themen
Einführungsphase	<ul style="list-style-type: none"> • Mechanik: Kinematik und Dynamik (ca. 30 Stunden) • ... • •
Qualifikationsphase I	<ul style="list-style-type: none"> • • • • •
Qualifikationsphase II	<ul style="list-style-type: none"> • • • • •

2 Vereinbarungen zu einzelnen Unterrichtseinheiten

Sekundarstufe I

Energie: Qualitativer Energiebegriff

Aspekte	Vereinbarung
Wortschatz	<ul style="list-style-type: none"> • Energie, Energieform, Energieumwandlung, System, Komponenten des Systems, abnehmen, zunehmen, umwandeln, transportieren, speichern, ... • Bewegungsenergie, Höhenenergie, elektrische Energie, chemische Energie, thermische Energie, Strahlungsenergie, Spannenergie, Kernenergie, ... • ...
Formeln	Im Anfangsunterricht werden keine Formeln für Energieformen benötigt. Diese werden im Verlauf der Sekundarstufe I nach und nach in den einzelnen Sachgebieten erarbeitet.
Kompetenzen	<p>Erkenntnisgewinnung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energie und Energieumwandlungen beschreiben • Systeme und ihre Komponenten benennen (Modellbildung) • Zunahme von Energie in einem System mit gleichzeitiger Abnahme von Energie eines anderen Systems verknüpfen (und umgekehrt) • ... <p>Kommunikation</p> <ul style="list-style-type: none"> • adressatengerechtes Präsentieren physikalischer Phänomene • Energietransportketten mit Flussdiagrammen beschreiben • ... <p>Bewertung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energieumwandlungen gehen immer mit „Verlusten“ einher • politische und wirtschaftliche Auswirkungen begrenzter Energieressourcen • ...
Zentrale Experimente	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung der Energieumwandlungen bei Spielzeugen • Umwandlung der Energie bei Energiebausätzen
Fächerübergreifendes Arbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Biologie, Chemie: Energieumwandlungen von Menschen, Tieren, Winterschlaf, ... • Geographie: Energieressourcen Kohle, Gas, ... • Politik und Wirtschaft: regenerative Energien, Auswirkungen des menschlichen Energiebedarfs • ...
Themenübergreifendes Arbeiten	• Anhand des Themas Energie wird im Anfangsunterricht ein Überblick über die zu behandelnden Sachgebiete der Physik gegeben und somit das Fach Physik vorgestellt.
Mögliche Projekte	<ul style="list-style-type: none"> • Egg-Races zur Energie (im Verlauf der Sekundarstufe I), zum Beispiel Dosen mit Federantrieb möglichst weit rollen lassen • ...
Außerschulische Lernorte	• ...

Elektrizitätslehre: Einfache elektrische Stromkreise

Aspekte	Vereinbarung
Wortschatz	<ul style="list-style-type: none"> • Kabel, Schalter, Glühlampe, Batterie, Energiequelle, Netzgerät, Verbraucher, ... • elektrischer Strom, offener/geschlossener Stromkreis, Reihenschaltung, Parallelschaltung, UND-/ODER-Schaltung, ... • Elektrizität, Elektrizitätstransport, Energieumwandlung, Energietransport, Leiter, Nichtleiter, Isolator, fließen, strömen, ... • Schaltplan, Schaltzeichen, Kurzschluss, Sicherung • Wärmewirkung des elektrischen Stroms, magnetische Wirkung, ... • ...
Formeln	keine
Kompetenzen	<p>Erkenntnisgewinnung</p> <ul style="list-style-type: none"> • eigenständige Planung und Durchführung von Schülerexperimenten • ... <p>Kommunikation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Protokolle anfertigen (*) • Schaltpläne lesen und zeichnen • ... <p>Bewertung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sicherheitsmaßnahmen im Umgang mit Elektrizität • ...
Zentrale Experimente	<ul style="list-style-type: none"> • einfache Schaltungen in Schülerexperimenten mit Batterie, Kabel, Glühlampen und (selbstgebauten) Schaltern, ... • noch nicht die Netzversorgung der Schülertische, noch nicht die Steckbretter verwenden (diese werden in Klasse 8 eingeführt) • ...
Fächerübergreifendes Arbeiten	• ...
Themenübergreifendes Arbeiten	• ...
Mögliche Projekte	<ul style="list-style-type: none"> • Selbstbau von Schaltern für besondere Situationen • Selbstbau eines elektronischen Quiz (Multiple-Choice, Zuordnungen)
Außerschulische Lernorte	...

(*) Absprachen der Fachschaft zum Aufbau und Anforderungen an Protokolle siehe ...

Elektrizitätslehre: Stromstärke und Spannung

Aspekte	Vereinbarung
Wortschatz	<ul style="list-style-type: none"> • elektrische Stromstärke I, elektrische Spannung U zwischen ... und ..., Spannung als Antrieb des elektrischen Stroms, elektrische Energie E, elektrische Ladung Q, Widerstand R, elektrische Leistung P, ... • Ampère A, Volt V, Joule J, Coulomb C, Watt W • Ohm'sches Gesetz, proportional, ... • ...
Formeln	<ul style="list-style-type: none"> • Definition der elektrischen Stromstärke: $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ • elektrischer Widerstand: $R = \frac{U}{I}$ • elektrische Leistung: $P = U \cdot I$ • elektrische Energie: $E = P \cdot t$ • ...
Kompetenzen	<p>Erkenntnisgewinnung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Messverfahren für Stromstärke und Spannung abgrenzen • quantitative Auswertung von Experimenten per Hand und computergestützt durch Tabelle, Graph, verbale Formulierung <p>Kommunikation</p> <ul style="list-style-type: none"> • ... <p>Bewertung</p> <ul style="list-style-type: none"> • ...
Zentrale Experimente	<ul style="list-style-type: none"> • Nachweis elektrischer Ladungen mit dem Elektroskop und der Glimmlampe • eigenständige Messungen von Stromstärke und Spannung bei einfachen Schaltungen von Glühlampen oder Widerständen (Schülerexperiment) • ...
Fächerübergreifendes Arbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Biologie: Einfluss der Elektrizität auf den menschlichen Körper • Geographie: Versorgung von Regionen mit elektrischer Energie • ...
Themenübergreifendes Arbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleich mit Strömen beim Transport von Daten, Personen, Wärme oder Flüssigkeiten bzw. Gasen • Vergleich des magnetischen Feldes einer Spule mit dem eines Permanentmagneten • ...
Mögliche Projekte	<ul style="list-style-type: none"> • Messung der elektrischen Leistung im Haushalt mittels Leistungsmessgeräts • Analyse von Stromkreisen im Haushalt (Sicherungskasten) • Analyse von Blitzableitsystemen • Löten einfacher Schaltungen • ...

Aspekte	Vereinbarung
Außerschulische Lernorte	<ul style="list-style-type: none"> • Umspannwerk • ...

Sekundarstufe II

Mechanik

Aspekte	Vereinbarung
Wortschatz	<ul style="list-style-type: none"> • Bezugssystem (das Inertialsystem), Relativgeschwindigkeit, ... • Steigung, Steigungsdreieck, Differenzenquotient, Ableitung, Flächeninhalt, ... • beschleunigen, bremsen, verzögern, ... • ...
Formeln	<ul style="list-style-type: none"> • ... • Potenzielle Energie: $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$ • Kinetische Energie: $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ • Spannenergie einer Feder: $E_s = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$ • ...
Kompetenzen	<p>Sachkompetenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Erklärung des waagerechten Wurfs mithilfe der Superposition • Bestimmung von g mithilfe eines Fadenpendels nach Versuchsanleitung • Umrechnung von üblichen Einheiten • Lösen von Gleichungen und Gleichungssystemen • ... <p>Erkenntnisgewinnungskompetenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aufstellen von Hypothesen zum Auftreffpunkt eines geworfenen Balls • Planung von Messverfahren für die Bestimmung von Zeiten, Orten, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen • Planung und Auswertung eines Experiments mithilfe digitaler Messwerterfassung; zum Beispiel Videoanalyse an der schiefen Ebene • ... <p>Kommunikationskompetenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Darstellung von Bewegungen mittels Tabellen, Graphen und Funktionen • Analyse von Graphen hinsichtlich Steigung und Fläche zur Beschreibung und Beurteilung von Bewegungen • ... <p>Bewertungskompetenz</p> <ul style="list-style-type: none"> • ...

Aspekte	Vereinbarung
Zentrale Experimente	<ul style="list-style-type: none"> • Beispiele für gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegung • freier Fall • waagerechter Wurf • Stoßexperimente • ...
<i>Fortführung der Tabelle »</i>	
Fächerübergreifendes Arbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Sport: Bewegungsanalyse, Bewegungslehre (Bewegungsphasen) beim Werfen, Springen, Hoch-, Weitsprung, Ballwurf, Speerwurf • Mathematik: Begriff der Steigung und Ableitung bei Bewegungsvorgängen, Umgang mit Gleichungen und Gleichungssystemen •
Themenübergreifendes Arbeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Gleichmäßige Beschleunigung von Ladungsträgern im elektrischen Feld • Ablenkung von Teilchen im homogenen Feld: Analogie von Bewegungen im Gravitations- und Kondensatorfeld (Wurfparabel) • ...
Mögliche Projekte	<ul style="list-style-type: none"> • Videoanalyse eigener oder alltagsrelevanter Bewegungen, insbesondere Beschleunigungen im Sport, von Verkehrsmitteln • Auswertung von Sensordaten eines Smartphones oder Tablets • Messung der Schallgeschwindigkeit in Luft und Feststoffen • ...
Außerschulische Lernorte	<ul style="list-style-type: none"> • ...

3 Fachsprache

4 Fördern und Fordern

3 Fachsprache

Im Fach Physik wird der Übergang von der Alltags- zur Fachsprache gefördert, indem im Unterricht eine Bildungssprache angestrebt wird, die mit der Jahrgangsstufe zunehmend Elemente der Fachsprache enthält. Dazu verwenden wir im Physikunterricht unserer Schule folgende Methoden zur Sprachbildung.

- Wortschatzliste, Glossar oder Merkheft (von Schülerinnen und Schülern geführt)
- Aufgaben mit Mustersätzen, Mustertexten, Lückentexten, Wortgeländern, Textpuzzle, Satzbaukästen, Concept Map, Kreuzworträtsel, ...
- Umformulieren und Korrigieren von Sätzen, Definitionen, Aufgaben, ...
- Bewertung unterschiedlicher vorgegebener Formulierungen und Texten
- ...

Darüber hinaus setzen wir folgende Schwerpunkte und treffen folgende Absprachen: ...

4 Fördern und Fordern

Im vorliegenden Fachcurriculum werden folgende Vereinbarungen zu Maßnahmen zum Fördern und Fordern der Schülerinnen und Schüler getroffen. Dabei geht es zum einen um Hilfestellungen für Schülerinnen und Schüler, die Schwierigkeiten haben, den Leistungsanforderungen gerecht zu werden. Für diese werden folgende Unterstützungsangebote gemacht:

- binnendifferenziertes Arbeiten im Unterricht
- Lernhilfen im Internet: (zum Beispiel www.leifiphysik.de, abgerufen am 28.06.2022)
- Hinweis auf Lehrfilme im Internet
- Bereitstellen von Physikbüchern zum Nacharbeiten
- Organisation eines Nachhilfesystems
- ...

Zum anderen werden nachfolgend Vereinbarungen getroffen, mit denen besonders interessierte und leistungsstarke Schülerinnen und Schüler gefördert werden.

- binnendifferenziertes Arbeiten im Unterricht
- Angebot einer Arbeitsgemeinschaft
- Kontakt zu Schülerforschungszentren
- Arbeitsgemeinschaft für die Vorbereitung der Teilnahme an folgenden Wettbewerben:
 - Physikolympiade (www.scienceolympiaden.de/iph0, abgerufen am 28.06.2022) ab Klasse 9
 - Bundesweiter Physik-Wettbewerb (www.mnu.de/wettbewerbe, abgerufen am 28.06.2022) ab Klasse 6
 - Jugend forscht/Schüler experimentieren (www.jugend-forscht.de, abgerufen am 28.06.2022)
- ...

5 Digitale und analoge Medien, Lehr- und Arbeitsmaterialien

Für den Physikunterricht stehen der Fachschaft folgende Medien zur Verfügung:

- Experimente (Schülerexperimente, Demonstrationsexperimente, virtuelle Experimente, Applets)
- Computermesssystem
- visuelle Medien (Filme, Fotos, Präsentationen ,...)
- Printmedien (Schulbuch, Plakate, ...)
- klassische Medien (Tafel, Whiteboard, Overheadprojektor)
- Computer (Messsysteme, Simulationen, ...)
- Apps auf Schülerendgeräten
- Dokumentenkameras, digitale Tafeln
- ...

Schülerexperimente (Anleitungen im Fachschaftsordner)

- Optik
 - Abbildungen an der Konvexlinse (Arbeitsblatt 1)
 - Bau einer Lochkamera (evtl. Hausaufgabe, Vorlage ...)
 - ...
- Elektrizitätslehre
 - Parallel- und Reihenschaltung
 - Bau eines Elektromotors (Bausatz erhältlich bei ...)
 - ...
- Mechanik
 - Versuche zum Messen von Geschwindigkeiten
 - ...
- ...

Schulbuch

Dem Physikunterricht liegen in den entsprechenden Jahrgängen die folgenden Schulbücher zugrunde:

Jahrgang	Buch
5/6	
7	
8	
9	
10	
Einführungsphase	
Qualifikationsphase I	
Qualifikationsphase II	

Es wird vereinbart, dass jeweils ein Präsenzbestand in den Unterrichtsräumen zur Verfügung steht (je 20 Exemplare).

Einsatz digitaler Endgeräte

Folgende Experimente werden digital unterstützt:

- Elektrizitätslehre
 - Schaltungen von Glühlampen auch mit Simulationssoftware (...)
 - Einsatz von Widerständen (Beispieldatei unter)
 - ...
- Mechanik
 - Analyse von Bewegungen mit Videoanalyse (Software und Anleitung ...)
 - Auswertung von Versuchsergebnissen und Zeichnen von Graphen (Tabellenkalkulation)
 - ...

Dokumentenkamera

Die in den Räumen zur Verfügung stehenden Dokumentenkameras werden in den Unterricht so integriert, dass sie für die Schülerinnen und Schüler ein selbstverständliches Hilfsmittel darstellen (Präsentation von Materialien, Versuchsergebnissen, ...).

6 Hilfsmittel**7 Leistungsbewertung****6 Hilfsmittel**

In Absprache mit den unterrichtenden Lehrkräften in Mathematik und den Fachschaften der anderen Naturwissenschaften beschließen wir die Anschaffung der folgenden Hilfsmittel:

Hilfsmittel	Zeitpunkt
Taschenrechner (Typ)	...
Formelsammlung (Bezeichnung, Auflage) beziehungswise Formeldokument	...

7 Leistungsbewertung**Unterrichtsbeiträge**

Die Unterrichtsbeiträge umfassen alle Leistungen, die sich auf die Mitarbeit und Mitgestaltung im Unterricht und im unterrichtlichen Kontext beziehen. An unserer Schule werden dabei die folgenden Aspekte einbezogen:

- Beiträge im Unterrichtsgespräch, Beiträge im Gruppengespräch,
- Erledigung von Einzel- und Gruppenaufgaben,
- Ergebnispräsentationen,
- eigenständige Auswertung von Experimenten,
- eigenständiges Experimentieren,
- Referate,
- Hausaufgaben,
- Tests in der Sekundarstufe I (maximal 20 min),
- Heftführung in der Sekundarstufe I.

Dabei werden berücksichtigt:

- Argumentationsfähigkeit
- Verwendung von Fachsprache
- fachliche Korrektheit
- Komplexität des Beitrags
- Transferfähigkeit
- Abstraktions- und Analysefähigkeit
- Bezug zur Aufgabenstellung
- Verständlichkeit der Aussagen
- Selbstständigkeit
- Selbstkritik
- Kreativität

Selbsteinschätzungs- und Rückmeldebögen

Wir setzen in allen Klassenstufen den folgenden Selbsteinschätzungsbogen ein.

	Trifft fast immer zu	Trifft in der Regel zu	Trifft manchmal zu	Trifft selten zu
Ich bin aufmerksam und denke mit.				
Ich arbeite aktiv mit.				
Meine Beiträge enthalten Erläuterungen, Begründungen oder Fragen, die den Unterricht fördern.				
Ich beziehe die Beiträge meiner Mitschülerinnen und Mitschüler in meine eigenen Beiträge ein.				
Ich plane Experimente eigenständig.				
Ich führe Experimente selbstständig durch.				
Ich werte Experimente aus und ziehe aus Beobachtungen eigenständig Schlussfolgerungen.				
Ich löse Aufgaben selbstständig erfolgreich.				
Ich erledige meine Hausaufgaben eigenständig und trage sie vor.				
Ich habe meine Arbeitsmaterialien immer dabei.				
In Arbeitsphasen nutze ich erfolgreich meine eigenen Unterlagen.				
Ich verwende eine angemessene Fachsprache.				
Insgesamt bewerte ich meine Mitarbeit mit der Note:				
Note der Lehrkraft:				

Tests

- Es werden pro Halbjahr mindestens zwei Tests geschrieben.
- Jeweils ein Test kann ersetzt werden durch ein Referat, eine Ausarbeitung zu einem Experiment oder eine Hausarbeit.
- In Klasse 9 wird statt eines Tests von jeder Schülerin und jedem Schüler ein Referat gehalten.
- ...

Referate

- flüssige Präsentation, nicht nur Vorlesen
 - angemessene Unterstützung durch Medien
 - adäquate Beantwortung von Nachfragen
 - ...
- Ein Auswertungsbogen ist im Fachschaftsordner zu finden.

Klassenarbeiten/Klausuren in der Oberstufe

In der Oberstufe werden Klassenarbeiten oder gleichwertige Leistungsnachweise in die Leistungsbewertung einbezogen. Der nachfolgende Bewertungsschlüssel von Klassenarbeiten in der Oberstufe orientiert sich an dem für das Abitur festgelegten Benotungsraster. Auch hier besteht die Möglichkeit, im Einzelfall von diesem Raster abzuweichen.

Note	1	2	3	4	5	6
Anteil erreichbarer Punkte in %	≥ 85	≥ 70	≥ 55	≥ 40	≥ 20	< 20

8 Überprüfung und Entwicklung

Die in diesem Curriculum getroffenen Festlegungen präzisieren den durch die Fachanforderungen gegebenen Rahmen. Die Weiterentwicklung und gegebenenfalls Evaluation dieses schulinternen Fachcurriculums stellt eine ständige gemeinsame Aufgabe der Fachkonferenz dar. Die Gestaltung der Arbeit mit dem schulinternen Fachcurriculum basiert auf der koordinierten Zusammenarbeit der Physiklehrkräfte auch in Abstimmung mit anderen Fachschaften. Dies wird durch die Mitglieder der Fachschaft folgendermaßen umgesetzt:

Der/die Fachschaftsvorsitzende ...

- lädt mindestens einmal pro Halbjahr zu einer Fachschaftssitzung ein, bei der ein Erfahrungsaustausch zum schulinternen Fachcurriculum stattfindet und gegebenenfalls eine Weiterentwicklung diskutiert wird.
- trifft grundsätzliche Absprachen mit anderen Fachschaftsvorsitzenden.
- koordiniert und initiiert die Arbeit am schulinternen Fachcurriculum und die Überprüfung desselben.
- ...

Jede Physiklehrkraft ...

- beteiligt sich an der Arbeit am schulinternen Fachcurriculum.
- stimmt das fachliche Vorgehen mit den anderen Physiklehrkräften des jeweiligen Jahrganges ab.
- hält die Ergebnisse des Abstimmungsprozesses im schulinternen Fachcurriculum ein.
- ...

