

ZSL

**Zentrum für Schulqualität
und Lehrerbildung
Baden-Württemberg**

Physik

Handreichung zur Einführung des Bildungsplans im
Beruflichen Gymnasium ab Schuljahr 2021/2022



Redaktionelle Bearbeitung

Redaktion	Markus Barbian, Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (ZSL) Karl Heller, Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (ZSL)
Autor/in	Michael Abendschein, Richard-Fehrenbach-Gewerbeschule Freiburg Karl Heller, Philipp-Matthäus-Hahn-Schule Nürtingen Wolfgang Kreitmair, Seminar für Ausbildung und Fortbildung der Lehrkräfte Weingarten Bernd-Jürgen Kulick, Bertha-von-Suttner-Schule Ettlingen Florian Schifferer, Gewerbliche Schule Göppingen
Erscheinungsjahr	2021

Impressum

Herausgeber	Land Baden-Württemberg vertreten durch das Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (ZSL) Interimsadresse: Neckarstr. 207, 70190 Stuttgart Telefon: 0711 21859-0 Telefax: 0711 21859-701 E-Mail: poststelle@zsl.kv.bwl.de Internet: www.zsl.kultus-bw.de
Urheberrecht	Inhalte dieses Heftes dürfen für unterrichtliche Zwecke in den Schulen und Hochschulen des Landes Baden-Württemberg vervielfältigt werden. Jede darüber hinausgehende fotomechanische oder anderweitig technisch mögliche Reproduktion ist nur mit Genehmigung des Herausgebers möglich. Soweit die vorliegende Publikation Nachdrucke enthält, wurden dafür nach bestem Wissen und Gewissen Lizenzen eingeholt. Die Urheberrechte der Copyrightinhaber werden ausdrücklich anerkannt. Sollten dennoch in einzelnen Fällen Urheberrechte nicht berücksichtigt worden sein, wenden Sie sich bitte an den Herausgeber. Bei weiteren Vervielfältigungen müssen die Rechte der Urheber beachtet bzw. deren Genehmigung eingeholt werden. © Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung, Stuttgart 2021

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Vorbemerkungen zum neuen Bildungsplan	2
1.1	Vergleich des alten und neuen Bildungsplanes	2
1.2	Erläuterungen zum grundlegenden Anforderungsniveau	5
1.3	Kompetenzmodell – Bildungsstandards	5
1.4	Kompetenzorientierung – Kompetenzorientiertes Lernen	7
2	Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Unterricht des jeweiligen Fachs ..	9
3	Umsetzungsbeispiele	13
3.1	Energie und Leistung (BPE 2)	13
3.2	Elektromagnetische Induktion (BPE 8)	19
3.3	Wellen (BPE 10)	32
4	Umsetzungsbeispiele für Vertiefung – individualisiertes Lernen – Projektunterricht (VIP)	40
4.1	Energie und Leistung (BPE2)	40
4.2	Induktion (BPE 8)	41
4.3	Wellen (BPE 10)	42

1 Allgemeine Vorbemerkungen zum neuen Bildungsplan

1.1 Vergleich des alten und neuen Bildungsplanes

Mit der Weiterentwicklung der kompetenzorientierten Bildungspläne, im Rahmen der Neustrukturierung der Naturwissenschaften am Beruflichen Gymnasium, gibt es einen einheitlichen Bildungsplan Physik für alle Profile der Beruflichen Gymnasien. In der Eingangsklasse erfolgt der Physikunterricht mit zwei Wochenstunden Theorieunterricht. In den Jahrgangsstufen wird der Physikunterricht mit drei Wochenstunden Theorieunterricht angeboten. Das Fach Physikalische Laborübungen mit zwei Wochenstunden wird lediglich an den Technischen Gymnasien als Wahlfach in der Eingangsklasse und als Ergänzungsfach in den Jahrgangsstufen angeboten.

Die wesentliche Änderung in der Eingangsklasse aller Beruflichen Gymnasien ist die Zusammenfassung von Kinematik und Dynamik in eine Bildungseinheit (BPE). Die bisherige Lehrplaneinheit 5 ‚Grenzen der klassischen Physik‘ am Technischen Gymnasium wird durch die BPE 3 ‚Moderne Physik‘ ersetzt. Alle anderen Richtungen des Beruflichen Gymnasiums erhalten damit eine neue Bildungseinheit.

Gemäß dem Basiskonzept Superposition und Komponenten ist der waagrechte Wurf in der Eingangsklasse zu unterrichten. Einige der bisherigen Inhalte, u. a. Schiefe Ebene, Reibung und Arbeit, werden in der Sekundarstufe I vermittelt. Das Themengebiet Wärmelehre und die Laborübungen am Technischen Gymnasium wurden aus dem Bildungsplan und der Studententafel herausgenommen und im Fach Physikalische Laborübungen des Technischen Gymnasiums integriert.

Für die bisherigen zweistündigen Physikkurse ergeben sich in den Jahrgangsstufen wesentliche Änderungen: Die BPE 4 ‚Das Magnetfeld‘ und die BPE 5 ‚Das elektrische Feld‘ sind im neuen Bildungsplan eigenständige Bildungseinheiten und werden mit zentralen Elementen der Inhaltsbereiche der Bildungsstandards erweitert. Die BPE 9 ‚Schwingungen‘, BPE 10 ‚Wellen‘ und BPE 11 ‚Quantenphysik‘ werden ebenfalls mit zentralen Elementen der Inhaltsbereiche der Bildungsstandards erweitert. BPE 7 ‚Teilchen in Feldern‘ und BPE 8 ‚Elektromagnetische Induktion‘ sind vollständig neue Bildungseinheiten. In den Jahrgangsstufen eins und zwei muss bei der Wahl des Theoriefaches Physik das Ergänzungsfach Physikalische Laborübungen am Technischen Gymnasium verpflichtend belegt werden.

Wegen der Stundenreduzierung und des daraus resultierenden grundlegenden Anforderungsniveaus (siehe Kapitel 1.2) entfallen in den BPE 6–11 Inhalte des bisherigen vierstündigen Physikkurses aller Beruflichen Gymnasien, u. a. Überführungsarbeit im Gravitationsfeld, Energiedichte des Magnetfeldes, Interferenz am Gitter, Comptoneffekt, Unschärferelation.

Eine Gegenüberstellung der Lehrplaneinheiten der bisherigen Lehrpläne der Eingangsklasse, der zwei- und vierstündigen Kurse und der Bildungsplaneinheiten des aktuellen Bildungsplans ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

INGANGSKLASSE: ENTFALLENE INHALTE	ÄNDERUNGEN UND NEU HINZUGEKOMMENE INHALTE
BPE 1 Kinematik und Dynamik	
Inertialsystem Schiefe Ebene, Bewegung auf der schiefen Ebene Umfangreiche statische Berechnungen Beschleunigte Bewegungen mit Anfangsgeschwindigkeit (z. B. Überholvorgänge) Elastischer Stoß quantitativ Reibung Massenbegriff	Kinematik und Dynamik sind in einer BPE zusammengefasst Diagramme, auch von realen Bewegungen Durchschnittsgeschwindigkeit, Momentangeschwindigkeit Vektorielle Größen: quantitativ ausschließlich orthogonale Komponenten Fallbeschleunigung Waagrechter Wurf (bisher in J1) Stoßvorgänge vereinfacht
BPE 2 Energie und Leistung	
Arbeit, Arbeitsformen Einsteins Masse-Energie-Äquivalenz (TG)	Energieträger, Energieübertragung, Energieübertragungsketten, Energieentwertung, Energieänderungen, Energieflussdiagramm
Wärmelehre (im TG integriert bei den physikalischen Laborübungen)	
BPE 3 Moderne Physik	
Grundgedanken der Quantentheorie Grundgedanken der Chaostheorie	Teile aus ‚Grenzen der klassischen Physik‘ (TG) stehen in der neuen BPE für alle BG oder wurden gestrichen Für das nTG: Relativitätsprinzip, Lichtgeschwindigkeit als Grenzgeschwindigkeit; Masse-Energie-Äquivalenz, Zeitdilatation und Längenkontraktion

JAHRGANGSSTUFEN 1 UND 2:

ENTFALLENE INHALTE	ÄNDERUNGEN UND NEU HINZUGEKOMMENE INHALTE FÜR DIE BISHERIGEN ZWEI- UND VIERSTÜNDIGEN KURSE
BPE 4 Das magnetische Feld	
Feldlinienbilder von Stabmagnet und Hufeisenmagnet Permeabilitätszahl (vierstündiger Kurs)	Für den zweistündigen Kurs: eigenständige BPE Feldlinienbilder von geraden Leitern und Spulen (zweistündiger Kurs) Magnetische Flussdichte der schlanken Spule (zweistündiger Kurs) Magnetfeld der Erde mit Inklinationswinkel und Komponentenzerlegung von B (zweistündiger Kurs)
BPE 5 Das elektrische Feld	

Energiedichte des elektrischen Feldes (vierstündiger Kurs)	Für den zweistündigen Kurs: eigenständige BPE Coulomb'sche Gesetz (zweistündiger Kurs) Mathematische Beschreibung der Überlagerung elektrischer Felder von Punktladungen (zweistündiger Kurs) Flächenladungsdichte (zweistündiger Kurs) Kondensator, Kapazität, Dielektrikum (zweistündiger Kurs) Energie des elektrischen Feldes (zweistündiger Kurs) Zeitlicher Verlauf der Stromstärke beim Aufladevorgang
BPE 6 Das Gravitationsfeld	
Gravitationspotenzial und Überführungsarbeit (vierstündiger Kurs) Grundzüge der allgemeinen Relativitätstheorie (vierstündiger Kurs) Bewegung von Körpern im Zentralfeld (zweistündiger Kurs) Das astronomische Weltbild	Gravitationsfeldstärke (zweistündiger Kurs)
BPE 7 Teilchen in Feldern	
	Für den zweistündigen Kurs: neue BPE BPE 7.1 komplett (zweistündiger Kurs) BPE 7.2: Kreisbewegung elektrisch geladener Teilchen im homogenen Magnetfeld (zweistündiger Kurs)
BPE 8 Elektromagnetische Induktion	
Energiedichte des Magnetfelds	Für den zweistündigen Kurs: neue BPE Induktion durch Flächenänderung (zweistündiger Kurs) Technische Anwendungen Magnetischer Fluss (zweistündiger Kurs) Allgemeines Induktionsgesetz (zweistündiger Kurs) Lenz'sche Regel (zweistündiger Kurs) Selbstinduktionsspannung (zweistündiger Kurs) Induktivität (zweistündiger Kurs) Energie des Magnetfelds (zweistündiger Kurs)
BPE 9 Schwingungen	
Erzwungene Schwingungen (vierstündiger Kurs) Resonanz (vierstündiger Kurs) Chaotische Schwingungen (vierstündiger Kurs)	Folgende Inhalte wurden von der Hinweis- in die Inhaltsspalte übernommen: Federpendel, Fadenpendel Energiebetrachtung (zweistündiger Kurs) Quantitative Betrachtung des elektromagnetischen Schwingkreises Thomson-Formel, Energiebetrachtung (zweistündiger Kurs)
BPE 10 Wellen	
dreidimensionale mechanische Wellen (vierstündiger Kurs) Brechung des Lichts (vierstündiger Kurs) Beugung und Interferenz am Einzelspalt (vierstündiger Kurs) Interferenz am Gitter (vierstündiger Kurs)	Longitudinalwellen Polarisation (zweistündiger Kurs) Stehende Wellen (zweistündiger Kurs) Eigenfrequenzen zweidimensionale mechanische Wellen (zweistündiger Kurs) Huygens'sches Prinzip: nur qualitativ
BPE 11 Quantenphysik	

Compton-Effekt (vierstündiger Kurs) Paarerzeugung und Paarvernichtung (vierstündiger Kurs) Deutung des Amplitudenquadrats der Wellen als Antreffwahrscheinlichkeitsdichte (vierstündiger Kurs) Elektronenbeugung am Kristallgitter (vierstündiger Kurs) Unschärferelation von Heisenberg für Ort und Impuls	Photonenimpuls (zweistündiger Kurs) BPE 11.3 komplett (zweistündiger Kurs) BPE 11.4 komplett (zweistündiger Kurs)
---	---

1.2 Erläuterungen zum grundlegenden Anforderungsniveau

Der Erwerb der in den Standards formulierten Kompetenzen findet an konkreten Inhalten statt. In den Bildungsstandards für die Qualifikationsphase sind die zentralen Inhalte, über die die Schülerinnen und Schüler zum Zeitpunkt des Erwerbs der Allgemeinen Hochschulreife verfügen sollen, in drei Inhaltsbereichen beschrieben. Die drei Inhaltsbereiche lauten:

- elektrische und magnetische Felder,
- Schwingungen und Wellen,
- Quantenphysik und Materie.

Sie dienen als Grundlage für die Erstellung von Aufgaben im Rahmen der Prüfung für die Allgemeine Hochschulreife und unterscheiden ein grundlegendes und ein erhöhtes Anforderungsniveau. Zur Erreichung der Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife hat der Physikunterricht am Beruflichen Gymnasium mindestens das grundlegende Anforderungsniveau zu berücksichtigen. Der Unterschied in den Anforderungen zum erhöhten Anforderungsniveau liegt im Umfang und in der Tiefe der gewonnenen Kenntnisse.

Im grundlegenden Anforderungsniveau benötigen die Schülerinnen und Schüler u. a. ein geringeres Fachvokabular und geringere Sachkenntnisse. Komplexere Sachverhalte mit erhöhtem Anforderungsniveau, auch mit einer umfangreicheren und tieferen Mathematisierung, können nach Auffassung der Lehrenden und Leistungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler exemplarisch im Unterricht bearbeitet werden.

1.3 Kompetenzmodell – Bildungsstandards

Mit den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife in den Naturwissenschaften werden abschlussbezogene Regelstandards gesetzt. Der neue Bildungsplan berücksichtigt diese Vorgaben der KMK-Bildungsstandards im Fach Physik vom 18. Juni 2020 (Vgl. <https://www.iqb.hu-berlin.de/bista/subject: Bildungsstandards im Fach Physik für die allgemeine Hochschulreife>.) Die Bildungsstandards stellen eine Weiterentwicklung der Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung (EPA) Physik dar und lösen diese vollständig ab. Sie definieren die Kompetenzen, die Schülerinnen und Schüler bis zum Ende der Jahrgangsstufen an hierzu beschriebenen Inhalten erwerben sollen.

Mit der Formulierung von Kompetenzerwartungen in den Bildungsstandards werden für die Länder, wie für jede Schule, Verbindlichkeiten festgelegt und zugleich Freiräume eröffnet. Verbindlichkeit besteht in der Orientierung an einem von den Schülerinnen und Schülern zu erreichenden Kompetenzstand als Ergebnis eines gelungenen Bildungsprozesses in der Schule; Freiräume werden eröffnet im Hinblick auf die Wege, um die angestrebten Ziele zu erreichen. Die bundesweit geltenden Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife geben damit die Zielperspektiven vor, die durch den länderspezifischen Bildungsplan konkretisiert werden. Neben dieser Funktion sollen die Bildungsstandards auch dazu beitragen, die Qualität des Unterrichts zu erhöhen. Die weitere Bedeutung der Standards liegt in der konsequenten Ausrichtung des Unterrichts auf die zu erzielenden Kompetenzen. Damit ist verbunden, den Unterricht von seinem angestrebten Ergebnis her langfristig mit Blick auf einen kontinuierlichen und schrittweisen Aufbau von Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler zu gestalten.

Im Kompetenzmodell der Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife stellen die vier Kompetenzbereiche Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz insgesamt die **Fachkompetenz in Physik** dar.

Die **Sachkompetenz** in den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife ersetzt den in den Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss beschriebenen Kompetenzbereich Fachwissen (KMK, 2004) begrifflich. Sachkompetenz der Schülerinnen und Schüler zeigt sich in der Kenntnis von Konzepten, Theorien, Verfahren sowie Experimenten und in der Fähigkeit, dieses Fachwissen zu beschreiben und zu erklären sowie geeignet auszuwählen und anzuwenden. In dem Kompetenzbereich Sachkompetenz werden die Standards S1–S7 in zwei Teilbereiche gegliedert:

- Modelle und Theorien zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen nutzen;
- Verfahren und Experimente zur Bearbeitung von Aufgaben und Problemen nutzen.

In Bezug auf die **Erkenntnisgewinnung** kompetent zu sein, bedeutet, dass die Schülerinnen und Schüler mit Kenntnissen über erlernte Verfahren und Methoden, die dem Bereich der Sachkompetenz zugeordnet werden, den Erkenntnisprozess gestalten und reflektieren können. Die Bildungsstandards umfassen in diesem Kompetenzbereich die Standards E1–E11 in vier Teilbereichen:

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

Kommunikationskompetenz zeigt sich beim Erschließen, Aufbereiten, Austauschen und Einschätzen physikalischer Informationen. In den Bildungsstandards ist das kommunikationsbezogene Fachwissen berücksichtigt, das heißt, dass Fachsprache, fachtypische Darstellungsformen und Argumentationsmuster beherrscht werden müssen, reflektiert werden und bewusst angewandt werden müssen.

Entsprechend sind die Standards K1–K10 der Kommunikationskompetenz in drei Teilkompetenzbereiche gegliedert:

- Informationen erschließen;
- Informationen aufbereiten;
- Informationen austauschen und wissenschaftlich diskutieren.

Bewertungskompetenz im Sinne einer naturwissenschaftlichen Bildung bedeutet, über die rein innerfachliche Beurteilung von naturwissenschaftlichen Aussagen hinauszugehen. Die Bewertung erfolgt multiperspektivisch unter Einbeziehung überfachlicher Aspekte und integriert damit beispielsweise soziale, politische, ökonomische und moralisch-ethische Perspektiven. Ein Ziel des Bewertungsprozesses ist, sachgerechte Entscheidungen zu treffen, eine begründete Bewertung vorzunehmen und Handlungsoptionen abzuleiten. Die Standards B1–B8 des Kompetenzbereichs Bewerten sind in drei Teilbereiche aufgeteilt:

- Sachverhalte und Informationen multiperspektivisch beurteilen;
- Kriteriengeleitet Meinungen bilden und Entscheidungen treffen;
- Entscheidungsprozesse und Folgen reflektieren.

Die hier beschriebenen vier Kompetenzbereiche durchdringen einander. Die Prozesse der Erkenntnisgewinnung sind eng an Kompetenzen aus dem Bereich der Sachkompetenz gebunden, grenzen sich aber durch ihren reflektierenden Anteil davon ab. Die Ergebnisse physikalischer Erkenntnisprozesse werden anschließend im Sinne der Kommunikationskompetenz aufbereitet oder zur Bewertung von komplexen Sachverhalten herangezogen.

Konkretisiert werden die Standards durch illustrierende Lernaufgaben, in denen der Bezug zu den jeweiligen Kompetenzbereichen und ihren Standards erläutert wird (Vgl. https://www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi_allg/physik: Unterrichten in der Sekundarstufe II Physik). Die angebotenen Lernaufgaben verdeutlichen exemplarisch, was unter den einzelnen Standards verstanden wird und wie das korrespondierende Wissen erlernt werden kann. Der Fokus der Aufgaben liegt auf der Vermittlung der Kompetenzen, was sie von Prüfungs- oder Übungsaufgaben unterscheidet. Die Kompetenzentwicklung erfolgt dabei an konkreten Inhalten, die in einen Kontext eingebunden sind. Bei allen Aufgaben sind die Lernvoraussetzungen sowie weitere Rahmenbedingungen ausgewiesen, dadurch eignen sie sich zum direkten Einsatz im Unterricht.

1.4 Kompetenzorientierung – Kompetenzorientiertes Lernen

Kompetenzen sind nach F. E. Weinert (2001) "die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können" (S. 27).

In Anlehnung an die von E. Weinert 2001 gegebene Definition einer Kompetenz lässt sich vereinfacht sagen, dass Kompetenzen verfügbare Fertigkeiten und Fähigkeiten sind, mit denen eine Person be-

stimmte Probleme lösen und diese Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich nutzen kann. Kompetenzen werden also durch Handeln sichtbar und sie müssen in variablen Situationen gezeigt werden. Kurz und knapp formuliert kann man sagen, eine Kompetenz zeigt sich in der Performanz.

Im Bild eines Eisbergmodells stehen also die Kompetenzen eindeutig ganz oben an der Spitze. Darunter liegen Wissen, Lernwille, Motivation, Einstellungen und Verantwortungsbewusstsein. Bildlich gesprochen nehmen also alle diese Aspekte zusammen einen sehr viel größeren Raum ein als die letztendlich zu zeigende Kompetenz. Allerdings sollte man nicht verkennen: Auf die Kompetenz kommt es an, sie ist das ‚Ergebnis‘ einer Vielzahl von Prozessen.

Kompetenzen werden also im handelnden Umgang mit Wissen sukzessiv erworben und erweitert und sie zeigen sich im handelnden Umgang mit Wissen. Wissen kann man wiederum untergliedern in Fachwissen, Methodenwissen und Strategiewissen.

Will man herausfinden, ob Kompetenzen erreicht sind, müssen die Lernenden in kalkulierte Leistungssituationen versetzt werden. Dabei muss das Wissen von ganz einfach bis sehr umfangreich, komplex und abstrakt gestuft sein. Die Anforderungen bei den Handlungen reichen von erprobend, unsicher, begrenzt und unbewusst bis hin zu planvoll, sicher, vielfältig und bewusst.

Blickt man auf den kompetenzorientierten Unterricht und das damit verknüpfte kompetenzorientierte Lernen, muss sich die Lehrkraft darum bemühen, Lernumgebungen zu entwickeln und zu gestalten, die die Lernenden in eine intensive, aktive, selbstgesteuerte und kooperative Auseinandersetzung mit Themen, manche sagen Lerngegenstände, bringen.

Kompetenzorientiertes Lernen

- wird ausgehend vom Lernprozess geplant;
- stellt die Inhalte in einen Kontext, der für die Lernenden von wirklicher Bedeutung ist;
- entwickelt Kompetenzen im handelnden Umgang mit Wissen;
- stellt die Bewältigung alltagsnaher Anforderungssituationen ins Zentrum;
- fördert und fordert auswertbare Lernprodukte;
- fördert und fordert das Reflexions- und Bewertungsvermögen.

All diese Aspekte sind nicht ohne eine den Lerngruppen angepasste sprachliche Förderung zu erreichen. Der kompetenzorientierte Unterricht ist stets und mit hoher Priorität sprachsensibel zu gestalten. Siehe hierzu u. a. J. Leisen, 2013, S. 69 ff.

Die didaktisch-methodische Modellierung des kompetenzfördernden Unterrichts kann in einem Kompetenzerwerbsschema dargestellt werden. Darin wird der systematische Wissenserwerb mit den zugehörigen Kenntnissen und Fertigkeiten in einen Zusammenhang mit den Fortschritten im Können gestellt. Durch passend strukturierte Lerngelegenheiten können auf den unterschiedlichen Ebenen des Wissens differenzierte Teilkompetenzen erworben werden.

Was sind Teilkompetenzen und mit welchem Instrument lassen sich diese diagnostizieren?

Für diagnostische Ansätze im Unterricht ist es wichtig, den Lernenden verständlich geschriebene Kompetenzformulierungen an die Hand zu geben. Auf dieser Grundlage werden die Schülerinnen und Schüler motiviert, Verantwortung für ihren Lernprozess zu übernehmen. Dies erfordert eindeutige Formulierungen mit inhaltlich klar begrenzten Bezügen und Anforderungen. Da dem neuen Bildungsplan eine Operatorenliste beigelegt ist und Operatoren als handlungsinitiiierende Verben zu verstehen sind, ist es für Lehrkräfte naheliegend, sich daraus die geforderten Teilkompetenzen zu konstruieren. Für die Praxis zusammengefasst heißt das, dass man kompetenzorientierten Unterricht entwickeln kann mit den in den Bildungsplaneinheiten direkt geforderten Teilkompetenzen oder man konstruiert sich eine Teilkompetenz, indem man einen Operator aus der Liste mit einem fachlichen Inhalt verknüpft. Kurz gefasst kann man also sagen, dass ein mit einem fachlichen Inhalt verknüpfter Operator eine Teilkompetenz darstellt.

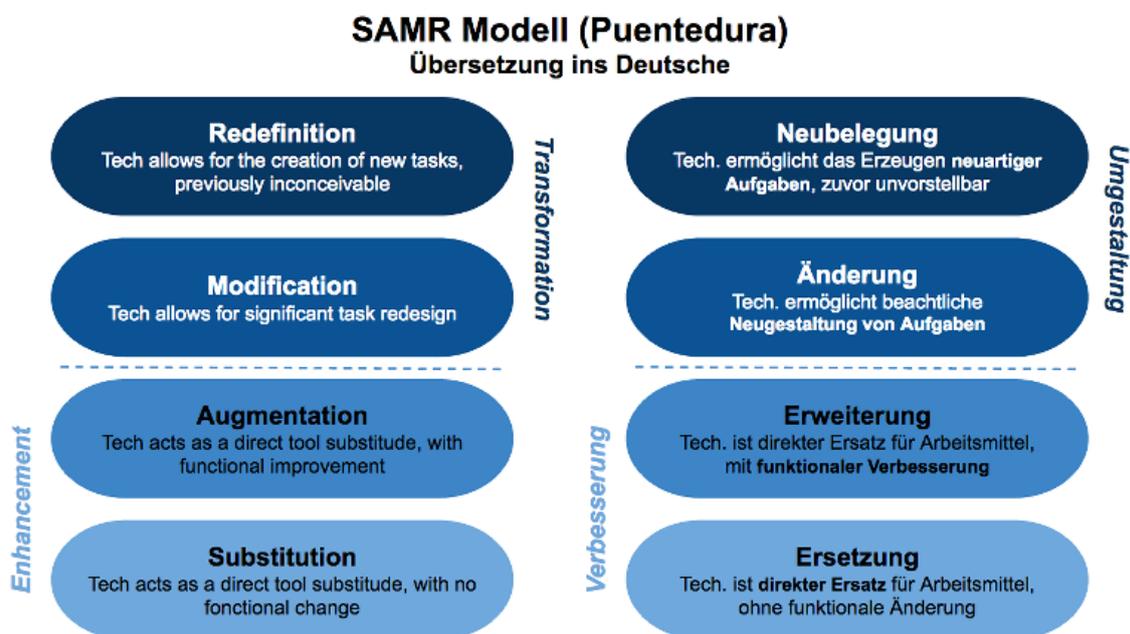
Methodisch gesehen ist für eine pädagogische Diagnose eine ‚Ich-kann-Liste‘ (IKL) geeignet. Diese ist ein einfaches und leicht handhabbares Instrument. Ich-kann-Listen haben sich bewährt und sind in Schulen schon verbreitet. Mit diesem Instrument kann die Qualität des Unterrichts systematisch entwickelt werden. Sie kann vor oder während einer Unterrichtseinheit eingesetzt werden. Besonders gute Erfahrungen zeigen sich, wenn diese Liste rechtzeitig vor einer Klausur in der Klasse verteilt wird. Die Schülerinnen und Schüler können dann ihren Lernstand selbstständig diagnostizieren. Lücken können damit gezielt aufgearbeitet werden. Die Listen sollten keinesfalls als Zwangsmittel verwendet werden, sie dürfen auch keine Appelle enthalten. Die Schülerinnen und Schüler sollten weitgehend selbst entscheiden, wie intensiv sie damit arbeiten wollen. Die Reihenfolge der Teilkompetenzen in der Liste hat eine untergeordnete Bedeutung.

Auch wenn man sich um eine verständliche Sprache bemüht, brauchen Schülerinnen und Schüler oft konkrete Aufgaben und Hilfsmittel, um sich sicher zu sein bezüglich der tatsächlichen Anforderungen. Deshalb zeigen sich bei Ich-kann-Listen, die mit einem Kompetenzcheck verknüpft werden, besonders hohe Zufriedenheitswerte bei den Lernenden. Eine IKL sorgt also in vielerlei Hinsicht für Transparenz und die Schülerinnen und Schüler können damit ihre Lernprozesse selbstständig diagnostizieren.

2 Einsatzmöglichkeiten von digitalen Medien im Unterricht des jeweiligen Fachs

Abhängig von der jeweiligen Lernsituation und dem Einsatz digitaler Medien als Messsystem, als Zugangsmöglichkeit zu digitalen Lehr- und Lernplattformen oder als Werkzeug zur individuellen Leistungsbeurteilung bieten sich viele Möglichkeiten, einen motivierenden, kompetenzorientierten Unterricht zu gestalten. Der digitale Wandel hat sich bereits im Kinderzimmer vollzogen: Digitale Messengerdienste, Lernvideos und Informationsplattformen werden von den Schülerinnen und Schülern nicht nur privat genutzt, sondern zunehmend auch für Hausaufgaben, für Referate und zur Prüfungsvorbereitung.

In welchem Maß digitale Medien den Unterricht durchdringen können und dabei einen Mehrwert bedeuten, lässt sich zum Beispiel mit dem vierstufigen SAMR-Modell zur Integration von Lerntechnologie nach R. Puenteverdura (siehe Abbildung 1, aus: Individuelle Förderung mit Unterstützung von digitalen Endgeräten im Unterricht an beruflichen Schulen, 2017) beurteilen. Ausgangspunkt ist eine Unterrichtssequenz ohne digitale Medien, beispielsweise ein Schülerexperiment. Es soll eine beschleunigte Bewegung über die Messung der Verdunklungszeiten an verschiedenen Orten untersucht werden, abschließend soll ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm gezeichnet und beurteilt werden, ob es sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung handelt. Dabei stehen die Förderung der Sachkompetenz beim Experimentieren und Auswerten sowie die Erkenntnisgewinnungskompetenz bei der Interpretation der Messergebnisse im Vordergrund.



Ruben R. Puentedura: Transformation, Technology, and Education (2006) - <http://www.hippasus.com/resources/tte/>
 Ruben R. Puentedura: Focus: Redefinition (18.06.2012) - <http://hippasus.com/blog/archives/68>

German translation: Adrian Wilke - <http://homepages.uni-paderborn.de/wilke/blog/2016/01/06/SAMR-Puentedura-deutsch>

Quelle: <http://homepages.uni-paderborn.de/wilke/resources/images/2016-01-06-SAMR-Puentedura-deutsch/SAMR-Puentedura-deutsch.png> [2.2020]

Ersetzt man die Auswertung in Papierform durch ein digitales Arbeitsblatt, welches zum Beispiel mit einem Tablet oder einem Laptop bearbeitet wird, so bildet dies die erste Stufe im SAMR-Modell, die **Ersetzung (Substitution)**: Die Unterrichtsplanung bleibt dieselbe, die Auswertung des Experiments kann allerdings digital erfolgen, zum Beispiel durch ein Tabellenkalkulationsprogramm. Hinsichtlich der geförderten Kompetenzen ergeben sich keine Änderungen zur analogen Auswertung.

Die zweite Stufe der **Erweiterung (Augmentation)** kann zum Beispiel der Einsatz eines digitalen Messwerterfassungssystems bilden: Die Lichtschranken sowie die Berechnung der Momentangeschwindigkeiten entfallen, die Auswertungssoftware errechnet die zugehörigen Orts-Zeit-, und Geschwindigkeits-Zeit-Graphen. Damit verringern sich der experimentelle Aufwand und die Zeit für die

Auswertung. Als Erweiterung kann der Beschleunigungs-Zeit-Graph ausgegeben und für verschiedene beschleunigte Bewegungen analysiert werden. Je nach Einsatzszenario können die Diagramme und die Auswertung digital gespeichert oder ausgedruckt werden.

Die Nutzung des Messwerterfassungssystems erleichtert zwar den Mess- und Auswertungsvorgang, trotzdem wird die Sachkompetenz gefördert, denn die Hard- und Software des Messsystems erfordern zahlreiche Einstellungen und Schritte bis zum Ergebnis. Lässt man die Schülerinnen und Schüler den ermittelten Beschleunigungsverlauf mit dem Graphen $v(t)$ der Geschwindigkeit vergleichen, so steigt die Förderung der Erkenntnisgewinnungskompetenz.

Eine **Veränderung (Modification)** der Unterrichtsplanung kann zum Beispiel eine Öffnung der Lernsituation darstellen. Die Schülerinnen und Schüler nutzen das digitale Messwerterfassungssystem und untersuchen verschiedene Bewegungen mit der Fragestellung, ob es sich um konstant beschleunigte Bewegungen handelt: Bewegungen an der schiefen Ebene, Fallbewegungen und Bewegungen auf horizontaler Fahrbahn. Die Auswertung erfolgt digital über die erstellten Bewegungsdiagramme. Die so entstehende Vielfalt an beschleunigten Bewegungen können dann präsentiert und im anschließenden Unterricht zusammengefasst werden.

So kommt die Förderung der Kommunikationskompetenz durch das Präsentieren und Veranschaulichen der Ergebnisse hinzu. Die Erkenntnisgewinnungskompetenz gewinnt durch die Interpretation der vielen untersuchten Bewegungen weiter an Bedeutung.

Nutzt man das Potenzial von Smartphones oder Tablets, so können damit Lernvideos zum Experiment erstellt und geteilt werden. Als Ergänzung sind mit Smartphone-Sensoren Beschleunigungsmessungen von Alltagsbewegungen wie einer Fahrrad-, Bus-, oder Autofahrt möglich. Zudem bieten frei verfügbare Simulationsprogramme die Möglichkeit, die experimentellen Ergebnisse zu überprüfen und zu bewerten. Die Ergebnisse können auf einer Lernplattform wie z. B. Moodle geteilt werden. Ohne digitale Medien wären diese Unterrichtsinhalte nicht möglich, sie stellen eine **Neubestimmung (Redefinition)** der Unterrichtsplanung dar.

Natürlich ist die beschriebene Unterrichtssequenz zeitintensiver im Vergleich zum analogen Experiment; gleichzeitig wird eine Vielzahl an Kompetenzen gefördert: Die Präsentation der Ergebnisse durch die Gestaltung eines Lernvideos fördert die Kommunikationskompetenz, die selbstständige Kontrolle der Ergebnisse durch Simulationen unterstützt die Ausbildung der Erkenntnisgewinnungskompetenz.

Wie gestaltet man Physikunterricht mit digitalen Medien sinnvoll?

„Die sinnvolle Einbindung digitaler Lernumgebungen erfordert eine neue Gestaltung der Lehr- und Lernprozesse“ empfiehlt die Kultusministerkonferenz (Bildung in der digitalen Welt, Strategie der Kultusministerkonferenz, 2017). Für einen lernförderlichen Einsatz von digitalen Medien sollte das „Primat der Didaktik“ gegenüber der Methodik (Klafki 1970, Voss 2018) berücksichtigt werden; digitale Medien sind nicht per se lernförderlich, ihr Einsatz kann erst nach der Festlegung von Unterrichtszielen und -inhalten sinnvoll geplant werden. Für die Auswahl der Unterrichtsziele und -inhalte ist der

aktuelle kompetenzorientierte Bildungsplan für die Oberstufe im Fach Physik bindend. Im Folgenden werden die Möglichkeiten und Potenziale von digitalen Medien im Physikunterricht vorgestellt.

Digitale Messsysteme

Digitale Messsysteme werden von den Lehrmittelherstellern mittlerweile preisgünstig angeboten, alternativ bietet das Smartphone einige Sensoren, welche mit frei verfügbaren Anwendungen auswertbar sind. Das Spektrum an möglichen Experimenten hat sich dadurch vergrößert: Beispielsweise sind die Frequenzanalyse von akustischen Signalen, Neigungs- und Beschleunigungsmessungen schnell verfügbar. So lassen sich große Datenmengen einfach messen und mit der zugehörigen Software schnell auswerten. Im Vergleich zum analogen Experimentieren können mehr und vielseitigere Experimente ausgewertet und interpretiert werden, damit wird die Erkenntnisgewinnungskompetenz gefördert. Wie man Experimente manuell auswertet, sollte trotzdem im Vorfeld vermittelt werden; auf die Förderung dieser Sachkompetenz darf nicht verzichtet werden. Die Anzahl der Schülerexperimente im Unterricht kann gesteigert werden, da die Messmittel schnell und individuell einsetzbar sind. Die Individualisierung des Unterrichts und damit die Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler beim Experimentieren nehmen zu.

Simulationsexperimente und Lernplattformen

Nicht alle physikalischen Zusammenhänge lassen sich in der Schulphysik durchführen oder anschaulich durch ein Experiment visualisieren. Diese Lücke kann durch interaktive Simulationsexperimente geschlossen werden, welche in frei zugänglichen Lernplattformen individuell nutzbar sind. Zusammen mit Lernvideos und Musteraufgaben mit Lösungen werden vielseitige und selbstgesteuerte Lernwege sowie Repräsentationen des physikalischen Verständnisses ermöglicht und die Erkenntnisgewinnungskompetenz vertieft gefördert. Die auf Lernplattformen verfügbaren Tools zur individuellen Leistungsbeurteilung (z. B. das Quiz in www.leifiphysik.de, Learning-Apps) ermöglichen es den Schülerinnen und Schülern, ihre Kompetenzen selbst zu beurteilen und eigenverantwortlich durch bereitgestellte Aufgaben mit Lösungen zu fördern.

Digitale Kollaboration

Durch interaktive digitale Pinnwände können Gruppen schnell und einfach zusammenarbeiten, ihre Ergebnisse präsentieren und vergleichen. Dies erleichtert die Ergebnissicherung, gleichzeitig entstehen viele verschiedene Repräsentationen der physikalischen Lerninhalte.

Weiterführende Hinweise/Links

Bogedan, Claudia (2016): Bildung in der digitalen Welt, Strategie der Kultusministerkonferenz (Fassung 07.12.2017), S. 7–8.

Wolfgang Klafki, Funkkolleg Erziehungswissenschaften, Frankfurt 1970, S. 53 ff.

Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (2017: Individuelle Förderung mit Unterstützung von digitalen Endgeräten im Unterricht an beruflichen Schulen, S. 16).

Voß, Stefan (2018): Im digitalen Zeitalter qualitätsorientiert lernen, Landesinstitut für Schulentwicklung (10/2018), S. 11.

3 Umsetzungsbeispiele

Die vorliegende Handreichung enthält Unterrichtsbeispiele für die Eingangsklasse, Jahrgangsstufe 1 und 2 mit der Beschreibung von Lehr-Lern-Prozessen, in denen die jeweiligen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler entwickelt und gefördert werden.

Für die Eingangsklasse wird für die BPE 2 ‚Energie‘ ein Unterrichtsbeispiel mit dem Fokus auf der Kommunikationskompetenz vorgestellt. Das Unterrichtsbeispiel für die Jahrgangsstufe 1 gehört zur BPE 8 ‚Elektromagnetische Induktion‘. Der Schwerpunkt liegt im Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung. Für die Jahrgangsstufe 2 wird ein Unterrichtsbeispiel aus der BPE 10 ‚Wellen‘ mit dem Fokus auf der Erkenntnisgewinnungskompetenz und der Bewertungskompetenz dargestellt. In den Stundenverlaufsplänen und den Aufgaben- und Arbeitsblättern der einzelnen Unterrichtsausarbeitungen sind die jeweiligen Standards der einzelnen Kompetenzbereiche zu finden.

Die begleitenden Dokumente beschreiben Aufgabenstellungen, Erwartungshorizonte und benötigte Hilfsmittel.

Die Schülerinnen und Schüler lernen im Unterricht die Bedeutung von Physik als eine theoriegeleitete und empirische Erfahrungswissenschaft mit spezifischen Denk- und Arbeitsweisen kennen. Grundsätzlich sollen sie anhand von Demonstrations- und Schülerexperimenten die Bedeutung der abstrahierenden und formalisierten Beschreibung von Prozessen und Systemen zur Bildung von Hypothesen und zur Anwendung von Modellen und Theorien erfahren. Die themenübergreifenden Basiskonzepte ermöglichen bei der Behandlung der einzelnen Bildungsplaneinheiten einen systematischen und strukturierten Wissensaufbau im Verlauf der gesamten Oberstufe.

3.1 Energie und Leistung (BPE 2)

3.1.1 VERLAUFSPLAN/STOFFVERTEILUNG

In diesem Beispiel wird ein Einstieg in die zweite Bildungsplaneinheit Energie und Leistung der Eingangsklasse vorgestellt. Die ersten beiden Doppelstunden werden ausführlich beschrieben, wogegen die Folgestunden lediglich einen Hinweis geben, wie es danach weitergehen könnte.

STUNDE	STUNDENTHEMEN
1+2	Kernaussagen zur Energie
3+4	Die mechanischen Energieformen qualitativ
5	Die Lageenergie quantitativ
6	Die kinetische Energie quantitativ
7	Die Spannenergie quantitativ

Verlaufsplan der ersten Doppelstunde „Kernaussagen zur Energie“

DAUER	UNTERRICHTSPHASE, INHALT	MATERIAL, MEDIEN	ANGESTREBTES ERGEBNIS, ERWARTETES SCHÜLERVERHALTEN
10	Einstieg – Abfrage der Präkonzepte zur Energie	Papier/Tablets	<ul style="list-style-type: none"> sammeln/strukturieren in Einzel- und Partnerarbeit alle Begriffe, welche sie bisher zum Thema Energie kennengelernt haben bzw. in diesem Zusammenhang sehen (K9)
30	Visualisierung	Tafel, Smartboard, Tablet, Dokumentenkamera	<ul style="list-style-type: none"> nennen ihre gefundenen Begriffe, erklären diese und benennen die Zugehörigkeit zu bereits genannten Begriffen an der Tafel (K4)
30	Festigung der wesentlichen Begriffe zum Thema Energie	Arbeitsblatt	<ul style="list-style-type: none"> geben Beispiele zu den Kernaussagen des Energiebegriffs an und festigen somit ihre Vorstellung der Begrifflichkeiten (K9)
20	Präsentation als Lernzielkontrolle	Dokumentenkamera Arbeitsblatt Beamer, Tablet	<ul style="list-style-type: none"> präsentieren ihr bearbeitetes Arbeitsblatt (K7, K9)
	Puffer	Tafel, Smartboard	<ul style="list-style-type: none"> beschreiben weitere Energieübertragungsketten in korrekter Fachsprache (K4)

Verlaufsplan der zweiten Doppelstunde „Die mechanischen Energieformen qualitativ“

DAUER	UNTERRICHTSPHASE, INHALT	MATERIAL, MEDIEN	ANGESTREBTES ERGEBNIS, ERWARTETES SCHÜLERVERHALTEN
10	Motivation Versuch 1 Fadenpendel	Schwere Kugel/Ball mit einer langen Kette/Schnur an der Decke befestigt. (Fadenpendel) Arbeitsblatt 1 „Beobachtungen“	<ul style="list-style-type: none"> beschreiben ihre Beobachtungen (K3)
30	Erarbeitung 1 Energieumwandlung beim Fadenpendel	Arbeitsblatt 1	Aufgabe 1a, 1b <ul style="list-style-type: none"> beschreiben die Energieumwandlungen unter korrekter Verwendung der Fachsprache (K4, K9)
30	Erarbeitung 2 Vertikales Federpendel Hüfender Flummi Stabhochsprung	Vertikales Federpendel Flummi Arbeitsblatt 2, 3, 4	Aufgabe 2a, 2b, Versuch 3, Aufgabe 3 <ul style="list-style-type: none"> formulieren in Einzelarbeit arbeitsteilig Beschreibungen ihrer Beobachtungen und der erfolgten Energieumwandlungen (K4, K9)
10	Präsentation/ Lernzielkontrolle	Dokumentenkamera Arbeitsblatt Beamer Tablet	<ul style="list-style-type: none"> präsentieren ihre Arbeitsergebnisse der Aufgaben 2 und 3 (K7)
10	Puffer Energieerhaltung und Energieentwertung	Arbeitsblatt 5 Textpuzzle	Aufgabe 5 <ul style="list-style-type: none"> erklären das Phänomen, dass trotz gültigem EES die sich bewegenden Körper ihre Energie „zu verlieren“ scheinen (K9, S2)

3.1.2 FACHLICHE HINWEISE

Folgende Inhalte werden in diesem Beispiel vermittelt.

STUNDE	STUNDENTHEMEN	INHALTE
1+2	Kernaussagen zur Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Energieerhaltungssatz • abgeschlossenes System • Energieformen (mechanisch, elektrisch ...) • Energieträger • Energieumwandlung • Energieentwertung
3+4	Die mechanischen Energieformen qualitativ	<ul style="list-style-type: none"> • Lageenergie • Kinetische Energie • Spannenergie

Folgestruktur

5	Die Lageenergie quantitativ	<ul style="list-style-type: none"> • Herleitung: $E_{Lage} = m \cdot g \cdot h$ • Nullniveau
6	Die kinetische Energie quantitativ	<ul style="list-style-type: none"> • Herleitung: $E_{Kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ • Nachbeschleunigen: $E_{Kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v_2^2 - v_1^2)$
7	Die Spannenergie quantitativ	<ul style="list-style-type: none"> • Herleitung: $E_{Spann} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$ • Nachspannen einer Feder: $E_{Spann} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot (s_2^2 - s_1^2)$

3.1.3 DIDAKTISCHE HINWEISE

Der Begriff „Arbeit“ taucht im Bildungsplan nicht mehr auf. Dennoch steht es den Lehrpersonen frei, den Weg zu wählen, welcher die historischen Entwicklungsstufen berücksichtigt. Auszug aus dem Vorwort des Bildungsplans: „Bei der Bildungsplaneinheit Energie und Leistung bleibt es der Lehrkraft überlassen, ob der Einstieg in das Thema über die mechanische Arbeit erfolgt und Energieänderungen bei Systemen als Arbeitsprozesse beschrieben werden.“ Ausgangspunkt ist dann der Newton'sche Kraftbegriff, von dem aus man über den Arbeitsbegriff zum Energiebegriff gelangt. Zunächst ist gegen diesen traditionellen Weg nichts einzuwenden.

Jedoch muss dieser Weg nach Bleichroth unter den Gesichtspunkten zweier didaktischer Beurteilungskriterien für Elementarisierungen kritisch beurteilt werden: unter dem Gesichtspunkt der „Angemessenheit für die geistige Struktur der Schülerinnen und Schüler“ und unter dem der „Entwicklungsfähigkeit für die Schüler“ (Bleichroth 1991).

Diese beiden Kriterien erfüllt dieser traditionelle Weg kaum. Der Weg zur Energie über die Kraft und die Arbeit setzt deren Verständnis voraus, was diesen Weg nicht zu einem einfachen Weg macht. Ferner beschränkt der traditionelle Weg den Energiebegriff weitestgehend auf die Mechanik und behindert den Lernprozess zu einem allgemeinen physikalischen Energiebegriff doch so nachhaltig, dass von vornherein ein breiterer Energiebegriff ins Auge gefasst werden sollte.

Fachdidaktische Forschungen bestätigen die obigen Überlegungen durch eine höhere Erfolgsquote, wenn die Energie vor der Arbeit unterrichtet wird (Wilhelm 2010, Duit 1991).

Wenngleich sich selbst die Physiker schwer damit tun zu erklären, was Energie überhaupt ist, so bringen die Schülerinnen und Schüler bereits eine weit ausgebaute Vorstellung vom Energiebegriff in den Unterricht mit. Diese Vorstellungen bzw. Präkonzepte müssen dringend in die Planung dieser Unterrichtseinheit mit einbezogen werden, da nur so eine belastbare Vorstellung des Begriffs vermittelt werden kann: „Diese Vorstellungen bestimmen, was schließlich wie verstanden wird.“ (Jung 2007).

Präkonzepte der Schülerinnen und Schüler sollten sichtbar gemacht werden, damit an diese angeknüpft werden kann. Darüber hinaus können die Schülerinnen und Schüler mit Fehlvorstellungen konfrontiert und diese gegebenenfalls umgedeutet werden.

Ein im Unterricht entstandenes Tafelbild/Mindmap einer Ideensammlung zum Energiebegriff:



Aber nicht nur das Korrigieren von Fehlvorstellungen erfordert ein Kommunizieren über Energie. Es ist wichtig, das Energiekonzept in sinnvollen Zusammenhängen zu besprechen, damit das Schlagwort Energie nicht naiv als Standardantwort auf die Frage nach der Ursache von Bewegungen verwendet wird. Damit Energie nicht eine leere Worthülse bleibt, besteht in der Fachdidaktik Einigkeit, dass im Unterricht eine umfassende Auseinandersetzung mit dem Thema Energie unter den Aspekten Energieformen, Energieumwandlung und -transfer, Energieentwertung und Energieerhaltung erfolgen sollte (Weßing 2019).

3.1.4 METHODISCHE HINWEISE

In dieser Handreichung wird ein Beispiel für den Einstieg in diese Bildungsplaneinheit vorgestellt, welches zunächst den Schwerpunkt ganz bewusst auf den Kompetenzbereich Kommunikation legt. So können einerseits die Präkonzepte aufgenommen und gegebenenfalls korrigiert werden und andererseits die korrekte Benutzung der vielen neuen Begrifflichkeiten eingeübt werden. Zunächst werden das genaue Beobachten und das Formulieren dieser Beobachtungen geübt.

Der Arbeitsauftrag, Beobachtungen zu formulieren, dient also nicht dazu, im Anschluss sogleich Hypothesen aufzustellen. Mit dieser Intention wäre der Erwerb weiterer Kompetenzen aus dem Bereich der Erkenntnisgewinnung angestrebt. Dann wären die Schülerinnen und Schüler beispielsweise aufgefordert, eigene Fragestellungen und Hypothesen sowohl zu Beobachtungen als auch zu den einzelnen

Themenbereichen zu formulieren, die sich physikalisch bearbeiten und beantworten lassen (E1, E2). Diese Variation ist jedoch nicht Gegenstand dieser Handreichung.

Je nachdem, wie viel Freiraum die Schülerinnen und Schüler im Unterricht haben, werden sich automatisch weitere Fragestellungen entwickeln, sodass schließlich die Diskussion über ein Einüben der Begrifflichkeiten hinaus (Kompetenzbereich Kommunikation) in die Richtung des Formulierens eigener Hypothesen (Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung) oder in das Erklären der Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Theorien (Sachkompetenz) gehen wird. Die Grenzen sind also fließend. So können die einzelnen Aufgaben- und Fragestellungen nicht immer nur genau einem Standard eines Kompetenzbereichs zugeordnet werden. Dennoch wird hier in der Zuordnung der Aufgaben zu den Standards so verfahren, da es die ursprüngliche Absicht der Lehrkraft ausdrückt und die Übersicht so gewahrt bleibt.

Kompetenzorientiertes Planungsziel dieser ersten Doppelstunde:

„Ich kann die Begriffe Energie, Energieerhaltung, -formen, -übertragung, -umwandlung, -entwertung mit eigenen Worten erklären“.

Durch die Aufforderung „Sammeln Sie alle möglichen Begriffe, die mit dem Thema Energie zu tun haben.“ (Think-Pair-Share) oder den alternativen Arbeitsauftrag „Strukturieren Sie die ausgegebenen Begriffe zum Thema Energie.“ werden die Präkonzepte der Schülerinnen und Schüler abgefragt. Dabei sind sie aufgefordert, über diese Begriffe nachzudenken und diese zu erklären.

Die Entwicklung der folgenden Kompetenzen wird dadurch gefördert:

- K4 formulieren unter Verwendung der Fachsprache chronologisch und kausal korrekt strukturiert.
- K7 präsentieren physikalische Sachverhalte sowie Lern- und Arbeitsergebnisse sach-, adressaten- und situationsgerecht unter Einsatz geeignet gewählter analoger und digitaler Medien.
- K9 tauschen sich mit anderen konstruktiv über physikalische Sachverhalte aus, vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt.

Kompetenzorientiertes Planungsziel dieser zweiten Doppelstunde:

„Ich kann die Energieumwandlung mechanischer Energieformen an einfachen Beispielen mit eigenen Worten beschreiben.“

Anhand der Aufgabenstellungen beschreiben die Schülerinnen und Schüler zunächst mithilfe der Lehrkraft und zunehmend alleine die Energieumwandlungen bei unterschiedlichen Beispielen. Dabei verwenden Sie ständig die vielen neuen Begriffe und trainieren dabei den richtigen Umgang mit der Fachsprache.

Die Entwicklung der folgenden Kompetenzen wird dadurch gefördert:

Die Schülerinnen und Schüler

- S2 erläutern Gültigkeitsbereiche von Modellen und Theorien und beschreiben deren Aussagen und Vorhersagemöglichkeiten;
- K3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder;
- K4 formulieren unter Verwendung der Fachsprache chronologisch und kausal korrekt strukturiert;
- K7 präsentieren physikalische Sachverhalte sowie Lern- und Arbeitsergebnisse sach-, adressaten- und situationsgerecht unter Einsatz geeignet gewählter analoger und digitaler Medien
- K9 tauschen sich mit anderen konstruktiv über physikalische Sachverhalte aus, vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt.

3.1.5 ARBEITSMATERIALIEN/AUFGABEN

Das Arbeitsblatt zur ersten Doppelstunde und die vier Arbeitsblätter zur zweiten Doppelstunde sind in der beigegeführten Materialsammlung auch je mit einem Lösungsvorschlag zu finden.

3.1.6 WEITERFÜHRENDE HINWEISE/LINKS

Literaturverweise

- Weßingk, Susanne (2019): Energieerhaltung und -entwertung. In: NiU-Physik (2019) Nr. 164, S. 2–5.
- Wilhelm, Thomas (2010) in <http://www.thomas-wilhelm.net/vorlesung/SpezielleDidaktik.pdf> (Zugriff 22.11.19).
- Duit, Reinders (1991): Zur Elementarisierung des Energiebegriffs. In: NiU-Physik 2 (1991) Nr. 6, S. 12–19.
- Bleichroth, Wolfgang (1991): Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung in NiU-Physik 2 (1991) Nr. 6, S. 4–11.
- Jung, Walter (2007): Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie in Schülervorstellungen in der Physik, S. 16.

3.2 Elektromagnetische Induktion (BPE 8)

3.2.1 VERLAUFSPLAN/STOFFVERTEILUNG

Der im Folgenden dargestellte Unterrichtsgang zeigt nicht die übliche Abfolge von Lernschritten zur Einführung der Induktionsspannung.

Üblicherweise wird zu Beginn des Unterrichts die Entstehung der Induktionsspannung mit einem bewegten Leiter in einem Hufeisenmagneten in den Blick genommen oder es wird die Leiterschaukel verwendet. Beides kann entweder im Demonstrationsversuch oder im Schülerversuch erfolgen. Dabei wird mit der Lorentzkraft die Entstehung der Induktionsspannung erklärt.

Anschließend wird die Induktion durch Änderung der magnetischen Flussdichte B im Unterricht aufgegriffen. Die Erklärung dieser ‚Induktionsart‘ erfolgt mit dem elektrischen Wirbelfeld. Die elektrodenlose Ringentladung liefert dann die Erklärung für diese Induktionsart. In einem dritten größeren Schritt nimmt man die Selbstinduktion in den Blick. Diese Vorgehensweise lässt sich mit einer entsprechenden Elementarisierung sicher auch begründen. Eine wesentliche Begründung für diese didaktische Vorgehensweise ergibt sich aus der Komplexität des Phänomens elektromagnetische Induktion.

Die Gefahr bei dieser Vorgehensweise besteht allerdings darin, dass die Lernenden infolge dieser Schrittfolge davon ausgehen – es geradezu auch so lernen – es gäbe drei Induktionsarten. Die ‚Induktion durch Flächenänderung‘, die ‚Induktion durch Änderung der magnetischen Flussdichte B ‘ und die ‚Selbstinduktion‘. Die didaktische Vorgehensweise würde also die de facto physikalische Grundlage derart belasten, dass es zu gravierenden Fehlvorstellungen aufseiten der Schülerinnen und Schüler kommen kann. De facto gibt es ja keine verschiedenen Induktionsarten.

Deshalb soll hier eine Vorgehensweise aufgezeigt werden, die diese Fehlvorstellung nicht zwingend unterstützt. Sie greift in ganz wesentlichen Teilen auf die Arbeiten von C. Erfmann und R. Berger 2015 zurück. Es wird insbesondere den lernschwächeren Schülerinnen und Schülern ein Zugang zu den Grundgedanken der elektromagnetischen Induktion ermöglicht, weil dem Aufbau der Grundbegriffe ein vergleichsweise breiter Raum eingeräumt wird.

Gleichwohl kann man nicht sagen, dass es sich bei dem hier dargelegten Unterrichtsgang um einen elementaren Zugang zur Induktion handelt. In den anspruchsvollen Schülerversuchen innerhalb der Lernstationen werden Induktionsspannungen gemessen und interpretiert. Ein wirklich elementarer Zugang zum Thema Induktion würde sich mit einem phänomenologischen Ansatz begnügen. Darüber hinaus wird mit der 7. Unterrichtsstunde das Allgemeine Induktionsgesetz über einen Messversuch gemeinsam mit der Lerngruppe erarbeitet. Insgesamt wird hier ein Lernweg vorgelegt, der die konsistente Begriffsbildung von Erfmann et al. nutzt, um eine grundsätzliche Basis für das Allgemeine Induktionsgesetz zu legen. Insofern handelt es sich in jedem Fall um einen für mathematische Vertiefungen, beispielsweise im VIP-Bereich, anschlussfähigen Unterrichtsgang, s. Kap.4. Die Brücke zum Allgemeinen Induktionsgesetz wird in den Arbeiten von Erfmann et al. nicht aufgezeigt. Ein weiterer Unterschied zum ‚Kurs‘ von Erfmann et al. ist, dass im vorgelegten Kurs konsequent die Induktionsspannung gemessen wird. Die moderne digitale Messtechnik lässt dies sogar im Schülerversuch zu. Es

muss dann nicht von aufleuchtenden Dioden auf einen Induktionsstrom mit Vorzeichenwechsel geschlossen werden. Darüber hinaus wird auf das Feldlinienbild im Inneren des Stabmagneten bewusst verzichtet. Dieses Feldlinienbild ist im Lehrplan nicht vorgesehen und – was noch schwerer wiegt – mit sehr vielen didaktischen und physikalischen Problemen behaftet.

Ordnet man die Schwerpunktsetzung der hier vorgestellten Sequenz der Unterrichtseinheit hinsichtlich der Kompetenzbereiche Sachkompetenz, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewerten ein, dann liegt diese in den Bereichen Sachkompetenz und Erkenntnisgewinnung, wobei die Kommunikation ebenfalls einen breiten Raum einnimmt.

Im Lehrplan sind 19 Unterrichtsstunden für die Einheit vorgesehen. Die folgende Übersicht zeigt eine mögliche Stundenverteilung. Es handelt sich um eine Grobplanung des Unterrichtsganges. Auch wenn es nur die elektromagnetische Induktion gibt, darf in den Planungen der Lehrkräfte selbstverständlich von Induktionsarten die Rede sein. Bei der unten aufgeführten Ich-kann-Liste wird auf den Begriff ‚Induktionsart‘ verzichtet. Dort wird von Verfahren zur Erzeugung oder Entstehung einer Induktionsspannung gesprochen. Manchmal führen Lehrkräfte auch ganz konsequent die Begriffe ‚Grundversuch I, Grundversuch II, Grundversuch III‘ ein, um den Begriff ‚Induktionsart‘ zu vermeiden. In der Literatur findet man auch die Bezeichnung ‚Induktionsform‘.

ZEITBEDARF	THEMENÜBERSICHT	BEMERKUNGEN
1h 1 h	Film/Zeitungsartikel zur Energieversorgung in Deutschland oder Europa - Diskussion Advance Organizer zum Thema anlegen	FWU 46 11226 - Induktion
2 h (mind.)	Mindestens 4 Lernstationen zum Phänomen Induktion Induktion durch Flächenänderung <ul style="list-style-type: none"> • Leiter bewegt sich auf Schienen im Magnetfeld eines Hufeisenmagneten • Induktionsgerät • Leiterschaukel Induktion durch Feldstärkeänderung <ul style="list-style-type: none"> • Rotierender Stabmagnet vor einer Induktionsspule • Betreiben eines Generatormodells • Stabmagnet wird auf eine Spule zu oder von ihr wegbewegt Auswertung der Arbeit an den Stationen – 1. Ergebnisse <i>Bewegt man einen Leiter quer zu den Magnetfeldlinien, kann an den Enden des Leiters eine Spannung gemessen werden.</i> <i>Ändert sich das Magnetfeld im Inneren einer Spule, kann an den Spulenenden eine Spannung gemessen werden.</i>	Anregungen hierzu finden Sie im Anhang unter Lernstationen
2 h (s. Entwurf)	Der magnetische Fluss Φ – Begriffsbildung über die Zahl der Feldlinien Der Wechselspannungsgenerator	s. Info 1 u. 2 sowie AB 1 und AB 2 im Anhang
2 h	Mathematische Definition des magnetischen Flusses – Allgemeines Induktionsgesetz	s. Hinweise und Messversuch im Anhang
2 h	Demonstrationsversuche zu den Induktionsarten mit Messungen Induktion durch Flächenänderung Induktion durch B-Feldänderung	
2 h	Anwendung des Induktionsgesetzes anhand einfacher Rechnungen	
1 h	Kompetenzcheck 1	anhand IKL + Kompetenzcheck 1
1 h	Lenz'sche Regel mit EES begründen und anwenden	

	- Thomson'scher Ringversuch	
1 h	Selbstinduktion mit einfachem Demoversuch	
1 h	Festlegung der Eigeninduktivität, Übungen	
2 h	Energie des Magnetfeldes mit einfachen Berechnungen und Vergleichen	
1 h	Kompetenzcheck 2	anhand IKL
19 h		

Ablauf der dritten Doppelstunde

Die folgende Vereinbarung zum magnetischen Fluss stellt das didaktische Kernelement der dritten Doppelstunde dar. Nach den Lernstationen wird vereinbart, was die Schülerinnen und Schülern zunächst unter dem magnetischen Fluss zu verstehen haben, nämlich die Zahl der Feldlinien, die eine Fläche durchsetzen. Die Lernenden werden so mit einer anschaulichen, begreifbaren Festlegung an den magnetischen Fluss herangeführt. Die genaue Richtung der Feldlinien wird zunächst außer Acht gelassen, wobei man allerdings nicht sagen kann, dass die Richtung der Feldlinien zunächst gar keine Rolle spielt. Die vorhandene Vorzeichenregelung unterstützt anschaulich das Verständnis der Umpolung am Wechselspannungsgenerator. Es wird deutlich, dass es sehr wohl von Bedeutung ist, ob die Feldlinien die linke oder rechte Seite einer Spule zuerst durchsetzen.

Vereinbarung zum magnetischen Fluss Θ

Infomaterial 1:

- Der Betrag des magnetischen Flusses θ ist proportional zur Anzahl N der magnetischen Feldlinien, die die Fläche einer Leiterschleife durchsetzen. Es gilt $|\theta| \sim N$
- Das Vorzeichen des magnetischen Flusses ist positiv, wenn die Feldlinie zuerst die weiße Seite der Spulenfläche durchstößt, und negativ, wenn zuerst die dunkle Seite der Fläche durchstoßen wird.
- Wir ordnen dem magnetischen Fluss den Wert θ_0 zu, wenn eine Magnetfeldlinie zuerst die weiße Seite der Fläche durchstößt.

Für $N = 1$ gilt also $|\theta| = \theta_0$, für $N = 2$ gilt dann $|\theta| = 2 \cdot \theta_0$ usw.

Der Verlauf der dritten Doppelstunde ist der folgenden Tabelle zu entnehmen. Auch diese Übersicht muss, wie die Themenübersicht, im Sinne einer Grobplanung verstanden werden. Die zentralen Aufgabenstellungen sind den Arbeitsblättern zu entnehmen.

DAUER	UNTERRICHTSPHASE, INHALT	MATERIAL, MEDIEN	ANGESTREBTES ERGEBNIS, ERWARTETES SCHÜLERVERHALTEN
5'	Motivation Zusammenhang mit vorherigen Stunden herstellen. Welche Ergebnisse haben die Experimente an den Lernstationen ergeben?	PP mit Bildern der Lernstationen	Verbalisieren der Erkenntnisse und Ergebnisse aus den Lernstationen (K4)
20'	Vorstellung des Flusskonzeptes, Thematisierung d. Begriffe: magn. Fluss $\Delta\Phi$, ‚Änderung des magnetischen Flusses‘, Vorzeichenwechsel der Induktionsspannung Erklärung des Zustandekommens der Induktionsspannung Erste Arbeitsphase mit Präsentation Weshalb gibt es einen Ausschlag am Spannungsmessgerät? gemeinsames Kennzeichnen der ‚dunklen Spulenseite‘ LuL beobachten, bewerten und unterstützen Lernprozesse und sie moderieren die Ergebnisvorstellung.	Präsentation des Definitionstextes Info 1 + Info 2 AB1: Aufgaben 1 bis 3	<ul style="list-style-type: none"> markieren helle Spulenseite auf AB 2, S.3 Arbeit im 2er-Team <ul style="list-style-type: none"> Identifikation mit der offenen Problemstellung wenden Modellvorstellungen an (S1) nutzen und zeigen einfache algebraische Berechnungen (S7) formulieren Hypothesen (E2) lernen Modelle kennen, durchdringen diese und wenden sie im Kontext an (E4, E6), bringen experimentelle Beobachtungen und Ergebnisse in Zusammenhang mit dem Modell (K4), Präsentation der Ergebnisse (K7)
10'	Zweite Arbeitsphase mit Präsentation Wie lässt sich der Wert für die Spannung beeinflussen? Gruppenbildung: 3–4 SuS LuL beobachten, bewerten und unterstützen Lernprozesse, sie moderieren die Ergebnisvorstellung.	AB 1, Rückseite Aufgabe 4	<ul style="list-style-type: none"> wenden Modellvorstellungen an nutzen und zeigen einfache algebraische Berechnungen formulieren Hypothesen (E2) lernen Modelle kennen, durchdringen diese und wenden sie in Kontexten an (E6) bringen exp. Beobachtungen u. Ergebnisse in Zusammenhang mit dem Modell (S1)
15'	LuL fassen mit den Lerngruppen wesentliche Erkenntnisse zusammen.	Dokukamera, AB 2, Generator	<ul style="list-style-type: none"> L-S-Gespräch Präsentation der Ergebnisse (K7) Aufschrieb (AB), Lückentexte vervollständigen bzw. korrigieren (E9)
30'	Dritte Arbeitsphase mit Ergebnisbesprechung Wechselspannungsgenerator, Durchführung des Experiments, Räumliches Vorstellungsvermögen klären bzw. schärfen, Gruppenbildung bleibt bestehen	AB 2, Generator	<ul style="list-style-type: none"> diskutieren das Flusskonzept und wenden es im technischen Kontext an (S1) erarbeiten das Φ-t-Diagramm (E4) modellieren mithilfe einer mathematischen Darstellung (E4) vergleichen Gruppenergebnisse, reflektieren Erkenntnisse (S1) analysieren und interpretieren ihre Gruppenergebnisse mit einer anderen Gruppe (E9) bewerten Erkenntnisse und Ergebnisse (E9) korrigieren Fehlvorstellungen (E9)
10'	Gemeinsame Ergebnissicherung		

Die angestrebten Ergebnisse, siehe rechte Spalte oben, lassen sich auf die erwähnten Bildungsstandards beziehen, allerdings nicht mit diesen gleichsetzen. Die Formulierungen in den Bildungsstandards sind deutlich weiter und sehr viel abstrakter gefasst.

Schülerinnen und Schüler

- S 1 erklären Phänomene unter Nutzung bekannter physikalischer Modelle und Theorien;
- S 7 wenden bekannte mathematische Verfahren zur Lösung von Aufgaben und Problemen an;
- E 2 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf;
- E 4 modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen;
- E 6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen;
- E 9 reflektieren die Relevanz von Modellen, Theorien, Hypothesen und Experimenten für die physikalische Erkenntnisgewinnung;
- K 4 formulieren Beschreibungen, Dokumentationen und Erklärungen chronologisch und kausal korrekt strukturiert;
- K 7 präsentieren Informationen sowie Lern- und Arbeitsergebnisse ziel-, sach- und adressatengerecht unter Einsatz geeignet gewählter analoger und digitaler Mittel.

3.2.2 FACHLICHE HINWEISE

Historischer Kontext

H. C. Oerstedt konnte 1820 erstmals den Zusammenhang zwischen strömender Elektrizität und einem statischen Magnetfeld herstellen. 1825 suchte M. Faraday nach dem Umkehrereffekt. Seine Arbeitshypothese orientierte sich an der elektrischen Influenz. Er experimentierte mit parallelen Drähten. Durch einen Draht ließ er einen starken Strom fließen und wollte zeigen, dass in der Folge im Paralleldraht ein Strom erzeugt werden kann. Dieser Versuch misslang. In einem zweiten Anlauf am 29. August 1831 gelang ihm die epochale Entdeckung der elektromagnetischen Induktion. Er konnte die elektrische Wirkung des Magnetismus nachweisen. Mit einem Ring aus Weicheisen und zwei getrennten darauf gewickelten Spulen, einer Batterie und einem Galvanometer konnte er den Nachweis des elektrischen Phänomens führen (siehe Bergmann, Schäfer, S. 182). Dieser historische Kontext ist hier aufgeführt, weil er die naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen eindrucksvoll belegt.

Vorkenntnisse

Aktuell muss davon ausgegangen werden, dass die Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler allenfalls aus ihrem privaten Bereich kommen. Im Bildungsplan 2016 Physik Sekundarstufe I (alle Schularten) werden in der Einheit Magnetismus und Elektromagnetismus als beispielhafte Anwendungen der

Elektromagnet, der Lautsprecher und der Elektromotor genannt. Der Generator, und damit verknüpft die Induktion, steht nicht im Fokus. Am Gymnasium findet man das Thema in den Klassen 9/10 und 11/12. In 9/10 soll mithilfe der elektromagnetischen Induktion die Funktionsweise von Generator und Transformator qualitativ erklärt werden. Im NWT-Unterricht der Realschule findet man das Phänomen Induktion nicht.

Das bedeutet, dass in der SEK II am BG mit ziemlicher Sicherheit das Thema Induktion in einem schulischen Kontext erstmals behandelt wird. Insofern ist ein behutsames Vorgehen erforderlich, um Überforderungen zu vermeiden. Hinzu kommt, dass Lehrkräfte mit langjähriger Unterrichtserfahrung folgende Bewertung sicher bestätigen können: „Die Erscheinung der elektromagnetischen Induktion gehört zu den kompliziertesten in der Schulphysik. Deshalb muss die didaktisch-methodische Aufbereitung besonders sorgfältig erfolgen. Es empfiehlt sich, die Schülerinnen und Schüler durch einführende und überraschende Experimente an das Phänomen heranzuführen, sie dadurch zu motivieren und anzuregen, ihre Vorkenntnisse und Erfahrungen einzubringen.“ (H.-J. Wilke, 2004, S. 2).

Magnetische Flussdichte \vec{B} – magnetischer Fluss Θ

Der magnetische Fluss ist als Skalarprodukt $\Theta = \vec{B} \cdot \vec{A}$ definiert. Darin ist mit \vec{A} die von der Leiter-
schleife eingeschlossene Fläche gemeint und mit \vec{B} die magnetische Flussdichte. Vernachlässigt man den Vektorcharakter der genannten Größen und beschränkt sich im Unterricht auf die Beträge der beiden Größen, lässt sich das Faraday'sche Induktionsgesetz, im Bildungsplan Allgemeines Induktionsgesetz genannt, auf die Form $U_{\text{ind}} = -n \dot{\Theta} = -n \cdot (B \cdot \dot{A} + A \cdot \dot{B})$ bringen. Hierin ist n die Windungszahl der Induktionsspule.

Eigenständige mathematische Betrachtungen mit Aufstellen und Ableiten der Flächenfunktion $A(t)$ oder Aufstellen und anschließendem Ableiten der Funktion für die magnetische Flussdichte B , in beiden Fällen ausgehend vom Allgemeinen Induktionsgesetz in der genannten Form, sind dem erhöhten Anforderungsniveau vorbehalten. Auf grundlegendem Niveau wird ein Verständnis der elektromagnetischen Induktion erreicht, wenn es den Schülerinnen und Schülern im Lernprozess gelingt, die Verfahren zur Erzeugung der Induktionsspannung unterscheiden zu können und diese Verfahren technischen Vorgängen oder Geräten zuordnen zu können. Dies wiederum bedeutet, dass Schülerinnen und Schüler in den Versuchsanordnungen oder bei technischen Geräten unterscheiden können müssen, ob eine zeitliche Änderung der magnetischen Flussdichte B oder eine zeitliche Änderung der vom Magnetfeld senkrecht durchsetzten Fläche A zu einer Änderung des magnetischen Flusses führt und dadurch die Induktionsspannung zustande kommt.

Minuszeichen beim Induktionsgesetz

Das Minuszeichen im Induktionsgesetz führt seit jeher zu umfassenden Diskussionen in der Fachdidaktik. Vielfach wird es im Unterricht über eine Energiebetrachtung eingeführt, oft wird es aber auch einfach nur gesetzt. Lehrkräfte mit einem elektrotechnischen Hintergrund betonen mit Nachdruck, dass das negative Vorzeichen nur dann sinnvoll eingeführt kann, wenn man die Knoten- und Ma-

schenregel ganz konsequent einführt und diese auch schult. Damit verknüpft ist die Einführung von Spannungspfeilen, um eindeutige Bezüge zu haben. Das heißt ganz konkret, dass in Schaltplänen erst eine Spannungsrichtung vorgegeben werden muss, um anschließend sagen zu können, welche Richtung die gemessene Induktionsspannung hierzu hat, gleich- oder entgegengesetzt zur vorgegebenen Richtung.

Es hat sich bewährt, im Unterrichtsgang zunächst auf das Minuszeichen im Allgemeinen Induktionsgesetz zu verzichten, es erst mit der Einführung der Lenz'schen Regel vertieft zu thematisieren. Die Lenz'sche Regel besagt dann, dass die Induktionsspannung U_{ind} stets so gerichtet ist, dass sie der Induktionsursache entgegenwirkt.

In den ersten Erkenntnisschritten ist es wichtiger, dass eine Zu- oder Abnahme des magnetischen Flusses erkannt wird und diese jeweils quantifiziert werden kann. Anschließend muss ein Verständnis der Änderungsrate des magnetischen Flusses angebahnt werden. Der hier vorgelegte Unterrichtsgang thematisiert bei den Erklärungen nicht die Richtung der Induktionsspannung, sondern das Vorzeichen des magnetischen Flusses. Dieses Vorzeichen bezieht sich in den Erklärungen auf die Spulenfläche und damit greift man bei dieser Einführung auf den Normalenvektor der Fläche zurück. Weil hier das elektrische Wirbelfeld gleich zu Beginn thematisiert wird und dessen Richtung vorgegeben wird, können die Schülerinnen und Schüler leichter Aussagen zur Polung der Induktionsspannung machen, siehe Infomaterial 1 und 2 im Anhang.

3.2.3 DIDAKTISCHE HINWEISE

Die didaktischen Herausforderungen im Rahmen dieser Einheit liegen nicht nur im Bereich der Sachkompetenz, sondern insbesondere im sprachlichen Bereich. Auch die notwendige Elementarisierung und die damit verknüpfte bildungspiangemäße Sachstruktur erfordern eine ganze Reihe von Entscheidungen seitens der Lehrkräfte.

Die Bildungsplaneinheit 8 ‚Elektromagnetische Induktion‘ fordert die Lernenden in den Bereichen der Fachsprache und Mathematik in besonderer Weise. Sichtet man die Schulbuchliteratur zu dieser Einheit, findet man die nachfolgend zusammengestellten Fachbegriffe und fest vorgegebenen Zusammensetzungen von Fachbegriffen. Die Anforderungen im Zusammenhang mit dem Faraday'schen Induktionsgesetz liegen infolge der hier auftretenden Differenzialrechnungen auf höchstem Niveau. Des Weiteren ist bekannt, dass schon ein Verständnis des Grundbegriffes elektrische Spannung mit vielen Hürden verknüpft ist. Ein großer Teil der Lernenden bringt den Begriff Spannung fast reflexartig in Zusammenhang mit der Gleichung $U = R \cdot I$. Es ist eine kaum zu überschätzende Herausforderung für Lehrkräfte, den Schülerinnen und Schülern zu vermitteln, dass die elektrische Spannung nur dann auftritt, wenn es eine Änderung der elektrischen Energie ΔE_{el} bei einer in einem äußeren elektrischen Feld vorhandenen elektrischen Ladung Q gibt.

Fachbegriffe – Wörter im Zusammenhang mit dem Thema Induktion

Selbst ein oberflächlicher Blick in die Schulbuchliteratur zeigt, welche sprachlichen Herausforderungen mit dem Themenfeld Induktion verknüpft sind. Die folgende, unvollständige Zusammenstellung belegt dies.

Im Zusammenhang mit dem **Begriff Spannung** findet man folgende Fachbegriffe: Spannungserzeugung, Schleife, Leiterschleife, Spule, Induktionsspannung, Spannung U_{ind} , Spannungsmesser, Fahrrad-Dynamo, Lorentzkraft.

In den Kontexten zu **Magnetfeld und magnetischer Fluss** findet man: Pol, homogen, inhomogen, Magnetfeld, Magnetfeldlinien, Ort, Feldlinien, Elektromagnet, Flächeneinheit, Fläche A , Flussdichte B , senkrecht, felddurchsetzt, felderzeugend, Projektion, Winkel, Abzählmethode, Hallsonde, Eisenkern, Lorentzkraft, Ladungsträger.

Zur Änderung des magnetischen Flusses findet man:

Erregerstromstärke, Induktionsspule, Änderungsrate, Flussänderung, Windungszahl, Differenzenquotient, Proportionalitätsfaktor, konstant, Zeitdifferenz, hinreichend, Vorzeichen, Spulenfläche, Flächenänderung, Differenziation, Metallstab, Gleichgewicht, Drei-Finger-Regel

Auf vier Seiten eines Schulbuches findet man knapp 50 Fachbegriffe mit einem Zusammenhang zu den Themen elektrische Spannung oder elektromagnetische Induktion. Geschätzt umfasst die Einheit Induktion bestimmt 100 Fachbegriffe!

Es kommen noch eine sehr hohe Zahl an **Wortgefügen mit bis zu drei Wörtern** hinzu:

Spannung induzieren	Spannung erzeugen
homogenes Magnetfeld	magnetische Flussdichte B
Zahl der Magnetfeldlinien	Magnetfeld am Ort
Erregerstromstärke im Elektromagnet	stärkeres Magnetfeld
Feldlinien durchsetzen Leiterschleife	Pol eines Elektromagneten
Feldlinien rücken zusammen	senkrecht stehende Flächeneinheit
„fließen“ mehr Feldlinien	Feldlinien des Magnetfeldes
Dichte der Feldlinien	Stromstärke im Elektromagnet
Gesamtzahl dieser Feldlinien	stromführende Spule
Projektion der Fläche	senkrecht zu den Feldlinien
felddurchsetzte Fläche A_s	felderzeugende äußere Spule
langgestreckte Spule	hervorgerufene elektrische Kraft
momentane Induktionsspannung	Produktregel der Differenziation
geschlossene elektrische Feldlinien	E ist homogen

Mit A_s ist die Projektionsfläche, also hier die senkrecht zur magnetischen Flussdichte B orientierte Fläche, gemeint.

Will man die Schulbuchttexte zur Induktion bewerten, kann man noch zusätzlich die Halbsätze in den Blick nehmen. Man findet beispielsweise im Themenfeld des magnetischen Flusses folgende Satzteile. Die grammatikalischen Beugungen sind teilweise entfernt.

- ‚Elektromagnet mit inhomogenem Magnetfeld‘
- ‚Zahl der sie durchsetzenden Magnetfeldlinien nimmt zu‘
- ‚Magnetfeld am Ort der Leiterschleife wird stärker‘

- ‚Gesamtzahl dieser Feldlinien durch die Fläche A‘
- ‚Leiterschleife mit empfindlichem Spannungsmesser‘
- ‚wenn sich die Zahl der Feldlinien in ihrer Fläche ändert‘
- ‚Induktion durch Ändern des magnetischen Flusses‘
- ‚lassen Leiterschleife gleichmäßig in homogenes Magnetfeld eintauchen‘
- ‚ändern der felddurchsetzten Fläche A_s ‘
- ‚ändern der Flussdichte $B(t)$ und der felddurchsetzten Fläche $A(t)$ ‘
- ‚Induktion erzeugt elektrische Wirbelfelder‘
- ‚Wechselspannung mit sehr hoher Frequenz‘

Diese Auflistung legt nahe, vorab sehr genau zu prüfen, welche Begriffe unabdingbar sind und welcher Sprachschatz im Unterricht mit grundlegenden Anforderungsniveau wirklich notwendig ist und gefordert werden kann. Gleichwohl wird in der BPE 8 die Sprache immer eine Hürde bei der Erkenntnisgewinnung bleiben. Eine sprachensible Vorgehensweise kann diese Hürde bestimmt absenken, aber diese vollständig aus dem Weg zu räumen, wird kaum möglich sein. Dessen sollte man sich bewusst sein. Es sollte auch immer bedacht werden, dass die Kommunikationskompetenz mit Fachtermini nicht in mehr oder weniger isolierten Einzelstunden geplant oder aufgebaut werden kann. Es ist eine Kompetenz, die prozedurales Wissen voraussetzt. Trotzdem sollte gelten, dass man der Wortschatzarbeit und den damit verknüpften Methoden einen möglichst breiten Raum im Unterricht gibt. Die digitalen Medien bieten hier hervorragende Möglichkeiten, weil Änderungen an eigenen Schreibprodukten leicht möglich sind und somit die individuelle Sachkompetenz sukzessive erweitert und vertieft werden kann.

3.2.4 METHODISCHE HINWEISE

Die im Bildungsplan vorgesehene Kompetenzorientierung erfordert neben der damit verknüpften Methodik eine sehr sorgfältige Sichtung und Berücksichtigung der technischen Anwendungen der elektromagnetischen Induktion. Ein an Kompetenzen orientierter Unterrichtsgang erfordert in jedem Fall einen Bezug zum Alltag der Schülerinnen und Schüler. Insofern ist auch die Übertragung der elektrischen Energie im Rahmen der Thematik Induktion zu beachten. Bei der Planung des kompetenzorientierten Unterrichts sind selbstverständlich die im Bildungsplan geforderten Teilkompetenzen zu berücksichtigen.

Welche Teilkompetenzen sind im Bildungsplan unmittelbar gefordert?

Die Schülerinnen und Schüler

- beschreiben anschaulich Induktionsphänomene und stellen die funktionalen Zusammenhänge des allgemeinen Induktionsgesetzes in einer vertieften mathematischen Form dar;
- erläutern technische Anwendungen der Induktion;
- erklären die Erzeugung von Spannung durch Induktion;
- berechnen für technische Anwendungen deren charakteristische Größen;
- erläutern Zusammenhänge der einzelnen Verfahren, um eine Induktionsspannung zu erzeugen;
- wenden das allgemeine Induktionsgesetz an, um unbekannte Größen zu berechnen;

- beschreiben das Phänomen der Selbstinduktion;
- erklären die Ursache der Selbstinduktionsspannung mit der Lenz'schen Regel;
- entwickeln aus Experimenten die charakteristische Größe Induktivität;
- erläutern, von welchen Größen die Energie des Magnetfelds abhängt.

Abgesehen von sprachlichen Stolpersteinen sind in konkreten Aufgabenstellungen für die Schülerinnen und Schüler detailliertere Formulierungen notwendig. Insofern sind die genannten Teilkompetenzen für die detaillierte Unterrichtsplanung und eine zu realisierende Diagnostik noch weiter aufzuschlüsseln und mit klar abgrenzbaren Inhalten zu verknüpfen.

Wie in den Vorbemerkungen betont, eignen sich hierfür sogenannte ‚Ich-kann-Listen‘. Für die Bildungseinheit Elektromagnetische Induktion kann die Ich-kann-Liste wie folgt aussehen. Eine solche Liste ermöglicht den Schülerinnen und Schülern eine selbstständige Diagnose ihrer Teilkompetenzen, weil mit den Aufgaben und Hilfsmitteln in der rechten Spalte klare Bezüge zu Seiten im Lehrbuch, zu Übungsaufgaben, zu Heftaufschriften mit Unterrichtsdatum oder Verweisen auf den Kompetenzcheck vorhanden sind.

Diese Liste orientiert sich stark an der Sachstruktur der Bildungseinheit 8 und erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit. Teilkompetenzen mit erhöhten Anforderungsniveau sind mit einem Sternchen (*) markiert.

Ich-kann-Liste zum Thema Induktion – Teste dein Können selbstständig.						
	Ich kann	-- ☹	-	+	++ ☺	Aufg. Hilfsm.
1	... folgende Begriffspaare inhaltlich unterscheiden: Magnetfeld <----> magnetische Flussdichte B Magnetischer Fluss <----> magnetische Flussdichte B Lorentzkraft <----> Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter magnetfeldfreier Bereich <----> vom Magnetfeld durchsetzte Fläche „Induktion durch Flächenänderung“ <----> „Induktion durch B-Feldstärkeänderung“					Arbeitsblätter
2	Magnetischer Fluss Φ					
	... die Definition des magnetischen Flusses angeben und interpretieren. ... den magnetischen Fluss grafisch veranschaulichen. ... Änderungen des magnetischen Flusses grafisch veranschaulichen. ... beim magnetischen Fluss die Richtungsänderungen der Fläche oder der Richtung des Magnetfeldes berücksichtigen.					

3	... aus dem allgemeinen Induktionsgesetz die beiden Fälle $U_{\text{ind}} = n \cdot B \cdot \dot{A}$ und $U_{\text{ind}} = n \cdot A \cdot \dot{B}$ zur Entstehung einer Induktionsspannung mathematisch herleiten. (*)					
4	... die Grundversuche I und II skizzieren, beschreiben und die Gleichungen $U_{\text{ind}} = n \cdot B \cdot \dot{A}$ und $U_{\text{ind}} = n \cdot A \cdot \dot{B}$ zuordnen.					
5	... die Lenz'sche Regel anwenden.					
6	Verfahren I: Induktion durch Flächenänderung ... das Schaltbild skizzieren und erläutern. ... den +-Pol und der -Pol bei der Induktionsspannung erklären. ... die Entstehung der Induktionsspannung U_{ind} anhand einer Kräfteskizze erklären. ... die Gleichung $U_{\text{ind}} = d \cdot v \cdot B$ herleiten. ... die Flächenfunktion $A(t)$ aufstellen und ableiten. (*) ... an der Schaltung erkennen, ob ein elektrischer Strom I fließen kann oder nicht.					
7	Verfahren II: Induktion durch Magnetfeldänderung ... Induktionsspule und felderzeugende Spule unterscheiden. ... das Schaltbild skizzieren und erläutern. ... erklären wie die Induktionsspannung zustande kommt. ... für die Feldspule aus dem I-t-Diagramm das B-t-Diagramm erstellen. ... eine gegebene B(t)-Funktion ableiten und die damit verknüpfte Induktionsspannung berechnen. (*)					
8	Verfahren III: Selbstinduktion ... das Phänomen der Selbstinduktion erläutern. ... die Gleichung $U_{\text{ind}} = -n \cdot L \cdot \dot{I}$ aus dem Faraday'schen Induktionsgesetz herleiten. (*) ... bei Ein- und Ausschaltvorgängen den Einfluss der Spule beschreiben ... die I-t-Diagramme für Ein- und Ausschaltvorgänge auswerten.					
9	... den prinzipiellen Aufbau des Transformators skizzieren und dessen Funktionsweise mit dem allgemeinen Induktionsgesetz erklären.					
10	... die Energie im magnetischen Feld berechnen.					
11	Aufgaben des Kompetenzchecks					Aufg...
	... Aufgabe 1 vollständig bearbeiten.					
	... Aufgabe 2 vollständig bearbeiten.					
	... Aufgabe 3 vollständig bearbeiten.					

	... Aufgabe 4 vollständig bearbeiten.					
	... Aufgabe 5 vollständig bearbeiten.					
11	...					

3.2.5 ARBEITSMATERIALIEN/AUFGABEN

Das didaktische und methodische Kernelemente der Arbeitsblätter AB 1 und AB 2 sind die konsequent eingesetzten Filmstreifen. Diese Idee von Erfmann et al. bietet eine gute Möglichkeit, die Lernenden an die zeitlichen Änderungen heranzuführen. Mit einfachen Zähl- und Rechenoperationen werden sie an die sehr abstrakte Größe magnetischer Fluss herangeführt. Die Lernenden erkennen leicht, wie man Einfluss auf die Änderung des magnetischen Flusses nehmen kann und wie man diese Änderung zu quantifizieren hat.

Zu den Arbeitsmaterialien zählen neben Arbeitsblättern die Infomaterialien 1 und 2. Das Infoblatt ist ein Teil des vollständigen Erklärungsansatzes. Alle Materialien befinden sich im Anhang. Das Informationsmaterial 1 enthält die im ersten Schritt zum magnetischen Fluss getroffene Vereinbarung. In der Aufgabe 1 auf dem AB 1 wird die Ermittlung des magnetischen Flusses diskutiert und die Änderung des magnetischen Flusses. Auf der Rückseite von AB 1 können die Schülerinnen und Schüler den Einfluss der Geschwindigkeit auf die Änderung des magnetischen Flusses erkennen.

Im AB 2 wird sehr anschaulich auf den Wechselspannungsgenerator eingegangen. In der Aufgabe 1 sollen die Lernenden die Stellung der Drehspule dem zeitlichen Verlauf zuordnen und wiederum den magnetischen Fluss, die Änderung des magnetischen Flusses und die Änderungsrate des magnetischen Flusses ermitteln. Gelingt den Lernenden ein erfolgreicher Erkenntnisprozess, finden sie ihre Sachkompetenz im zweiten Diagramm auf dem AB 2, in dem die magnetische Flussänderungsrate aufgetragen wird. Auch die vollständige Auflistung der Erklärungsschritte befindet sich im Anhang.

3.2.6 WEITERFÜHRENDE HINWEISE/LINKS

M. Barth: Induktion – Überblick zu fachlichen Grundlagen

In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik, 143, Okt. 2014.

M. Barth: Induktion in der Oberstufe unterrichten

In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik, 143, Okt. 2014.

C. Erfmann, R. Berger: Ein elementarer Zugang zur Induktion.

In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 2/64 (2015).

Materialien zum Unterrichtsgang von C. Erfmann et al.: https://www.physikdidaktik.uni-osnabrueck.de/forschung/abgeschlossene_projekte/elektromagnetische_induktion.html

J. Leisen: Handbuch Sprachförderung im Fach – Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis, Klett-Verlag 2013.

H.-J. Wilke: Einführende Experimente zur elektromagnetischen Induktion.

In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 5/53 (2004).

T. Rubitzko: Elementarisierung der elektromagnetischen Induktion –

Was ist im Unterricht der Sekundarstufe I wesentlich, und wie kann es vermittelt werden?

In: Naturwissenschaften im Unterricht – Physik, 143, Okt. 2014.

Dorn, Bader: Physik in einem Band, Schroedel-Verlag.

Impulse Physik – Oberstufe, Klett-Verlag.

Bergmann, Schäfer: Elektromagnetismus, Bd. 2, 2009.

3.3 Wellen (BPE 10)

3.3.1 VERLAUFSPLAN/STOFFVERTEILUNG

Die ersten 6 Doppelstunden der Bildungsplaneinheit Wellen beschränken sich auf die Eigenschaften und die Beschreibung mechanischer fortlaufender und stehender Wellen. Die folgende Übersicht zeigt eine mögliche Stoffverteilung, hierbei handelt es sich um eine Grobplanung des Unterrichtsganges.

STUNDE	STUNDENTHEMEN
1 + 2	Einführung Wellen
3 + 4	Beschreibung der sinusförmigen Querwelle
5 + 6	Wellengleichung $s(t,x)$
7 + 8	Überlagerung von mechanischen Wellen
9 + 10	Stehende Wellen
11 + 12	Eigenschwingungen

In dem Unterrichtsbeispiel ‚Überlagerung von mechanischen Wellen‘ lernen die Schülerinnen und Schüler mit der Interferenz ein Phänomen kennen, welches bei allen Wellenarten auftreten und mit dem Superpositionsprinzip erklärt werden kann. Die Tatsache, dass bei Interferenzen von Wellen Auslöschungen und Verstärkungen eintreten können, ist für die Lernenden überraschend. Die Doppelstunde 7 + 8 wird nachfolgend ausführlich beschrieben.

Ich-kann-Liste als Hausaufgabe zur Vorbereitung für die Doppelstunde 7 + 8

Material: Ich-kann-Liste

Zielsetzung: Statusdiagnose zur Selbstreflexion hinsichtlich Vorwissen und Kompetenzen. Die Fragestellungen dienen zur Reflexion der bereits vorhandenen Teilkompetenzen und als Zielangabe für die neu zu erwerbenden Teilkompetenzen. Sie erhöhen die Selbstständigkeit beim Lernen und die Transparenz beim Leistungsnachweis.

Dauer: ca. 30 Minuten

Verlaufsplan für die Doppelstunde 7 + 8: Überlagerung von mechanischen Wellen

DAUER	UNTERRICHTSPHASE, INHALT	MATERIAL, MEDIEN	ANGESTREBTES ERGEBNIS, ERWARTETES SCHÜLERVERHALTEN
5	Motivationsphase	Video (01:58 - 03:30)  	<ul style="list-style-type: none"> nennen von Fachbegriffen aus den vorherigen Stunden im Zusammenhang mit dem gezeigten Naturereignis: Wellen, Entstehung, Ausbreitung, Geschwindigkeit, Energietransport, Elongation

15	Problemorientierung Zielangabe mit Thema	Arbeitsblatt 1 IKL Tafel (Überschrift)	identifizieren die Problem- und Fragestellungen (E1, K3). Ergebnisdiskussion im Plenum
30	Arbeitsphase	Info-Blatt 1 Arbeitsblatt 2 Wellenwanne Tablets mit Simulationsprogramm Schulbuch gestufte Hilfen Internetquelle	<ul style="list-style-type: none"> formulieren Hypothesen zur Beschreibung des Interferenzmusters (E2) modellieren Phänomene experimentell oder mithilfe einer Simulation (E4) <p>Zusatzaufgabe:</p> <ul style="list-style-type: none"> beurteilen die Eignung der Interferenztheorie zur Erklärung von Monsterwellen (S2)
10	Ergebnissicherung	Tafel	L-S-Gespräch Heftaufschrieb
20	Arbeitsphase mit Ergebnisbesprechung und Erkenntnisgewinnung	Arbeitsblatt 3 nur zur Info, nicht verteilen Placemat-Vorlagen Lautsprecher Frequenzgenerator	<p>4er-Gruppen</p> <ul style="list-style-type: none"> planen ein Experiment zur Interferenz von Schallwellen (E5) erlaufen Maxima/Minima und erklären mithilfe der Interferenztheorie die Lautstärkeschwankungen (E6) berücksichtigen die Reflexionen an Gegenständen, welche das Ergebnis verfälschen (E7) erläutern anhand des Interferenzmusters die Bedeutung von Modellen und Theorien für die Erkenntnisgewinnung (E9)
10	Ergebnissicherung	Tafel	<ul style="list-style-type: none"> modellieren mithilfe einer mathematischen Darstellung (E4)

Hausaufgabe mit dem zusätzlichen Aspekt eine Bewertung durchzuführen

Material: Arbeitsblatt Hausaufgabe

Zielsetzung: Die Schülerinnen und Schüler wenden das Modell zur Interferenz auf die Technik von Noise-Cancelling-Kopfhörern an (S1, E10). Sie beschreiben, wie die Kriterien (A) bis (D) erfüllt werden müssen, um einen optimalen Betrieb der Noise-Cancelling-Kopfhörer zu sichern (B3).

Dauer: ca. 45 Minuten

Kompetenzcheck

Material: Arbeitsblatt Kompetenzcheck

Zielsetzung: Die Schülerinnen und Schüler wenden das Modell zur Interferenz auf die Akustik eines Konzertsaaes an, unterscheiden zwischen Realsituation und Modell (E10) und betrachten zusätzlich den Sachverhalt unter rechnerische Überlegungen (E4). Sie stellen eine Hypothese auf, welche Auswirkungen es auf das Interferenzmuster hat, wenn Lautsprecher entgegengesetzt gepolt angeschlossen werden (E1, E2). Die Schülerinnen und Schüler bewerten eine Aussage zum garantiert einmaligen Hörerlebnis in der Elbphilharmonie (B2, B4).

Dauer: ca. 75 Minuten

3.3.2 FACHLICHE HINWEISE

Folgende Inhalte werden in den ersten 6 Doppelstunden vermittelt:

STUNDE	STUNDENTHEMEN	INHALTE
1 + 2	Einführung Wellen	<ul style="list-style-type: none"> • Einfachstörung, Doppelstörung, Wellenberg, Wellental • Kenngrößen c, v: Konstruktion einer wandernden Doppelstörung • Messung von c • Einflussfaktoren von c • Longitudinal- und Transversalwellen • Polarisierung
3 + 4	Beschreibung der sinusförmigen Querwelle	<ul style="list-style-type: none"> • Erreger schwingt harmonisch • erzwungene und phasenverschobene Schwingung nachfolgender Teilchen • Zusammenhang zwischen Schwingung und Welle • Zeitliche und räumliche Darstellung: Konstruktion: x-s-Diagramm, Unterschied: t-s- und x-s-Diagramme • Kenngrößen: λ, T, f, $s(t)$, x, • $c = \lambda \cdot f$
5 + 6 eA für VIP	Wellengleichung $s(t,x)$	<ul style="list-style-type: none"> • Phasendifferenz • t-s-Diagramm am Ort x • x-s-Diagramm zum Zeitpunkt t • optional: Schnelle $v(t,x)$ • Wellenmaschine • Simulationen
7 + 8	Überlagerung von mechanischen Wellen	<ul style="list-style-type: none"> • Superpositionsprinzip • Interferenz • 2 Quelleninterferenz • Interferenzmuster • Konstruktive und destruktive Interferenz • Gangunterschied • Maxima und Minima
9 + 10	Stehende Wellen	<ul style="list-style-type: none"> • Entstehung durch Interferenz entgegenlaufender Wellen • Schwingungsknoten, -bäuche • Eigenschwingungen (qualitativ, quantitativ) • Unterschiede fortschreitende Welle - stehende Welle

11 + 12	Eigenschwingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Eigenfrequenzen, Obertöne, Resonanz Eigenschwingungen als Energiespeicher • Eigenschwingungen in Abhängigkeit von Randbedingungen
---------	-------------------	--

3.3.3 DIDAKTISCHE HINWEISE

In der Bildungsplaneinheit Wellen werden alle der Schule zugänglichen Wellenarten, sowohl theoretisch als auch experimentell, behandelt. Durch den Wellenbegriff und die Modellvorstellung von Wellen wird es ermöglicht, mechanische und elektromagnetische Vorgänge zu ordnen und zu verbinden. Die Erkenntnisprozesse werden nachvollziehbar und unterstützen das Denken in Strukturen.

Bei der Gestaltung dieser kompetenzorientierten Unterrichtsstunde „Überlagerung von mechanischen Wellen“ wurden folgende Planungsschritte durchgeführt:

1. **Bildungsplananalyse:** Die fachlichen Unterrichtsinhalte orientieren sich am Bildungsplan. Die Einbettung der Stunde in die Lehrplaneinheit bezüglich der sachlogischen Anordnung und der Vorstrukturen wird hierbei berücksichtigt. Die aufgeführten Inhalte in der voranstehenden Tabelle stehen auf den linken Inhaltsspalten der Bildungsplanheiten 10.1 und 10.2. und sind mindestens auf grundlegendem Anforderungsniveau zu unterrichten. Die Doppelstunde 5 + 6 enthält jedoch Inhalte, welche in der rechten Spalte genannt werden und optional unterrichtet werden können. Im Rahmen des VIP-Bereiches ist diese Doppelstunde im Stoffverteilungsplan berücksichtigt. Die Beschreibung der zeitlichen und räumlichen Entwicklung einer harmonischen eindimensionalen Welle in einer mathematischen Darstellung gehört zum erhöhten Anforderungsniveau. Abituraufgaben mit Inhalten der Doppelstunde 5 + 6 sind direkt nicht zu erwarten.
2. **Kompetenzanalyse:** Der wesentliche Kompetenzerwerb der Unterrichtsstunde „Interferenz mechanischer Wellen“ soll im Bereich der Erkenntnisgewinnungskompetenz entstehen. Die Schülerinnen und Schüler können selbstständig Erkenntnisprozesse bei der Erarbeitung der Unterrichtsinhalte nachvollziehen, gestalten und reflektieren. Im Bereich Bewerten ist das Ziel der Hausaufgabe, dass die Lernenden einen rational begründeten Bewertungsprozess durchführen. Die beiden anderen Kompetenzbereiche Sach- und Kommunikationskompetenz sind ebenfalls von Bedeutung, stehen aber nicht im Mittelpunkt der Unterrichtsstunde. Vor Durchführung der ausgewählten Unterrichtsstunde erfolgt eine Selbstdiagnose des Kompetenzstatus mithilfe einer Ich-kann-Liste bezüglich des Wissens, der Fähigkeiten und Kompetenzen. Hierbei sind die Kompetenzen und Teilkompetenzen erkennbar beschrieben. Dies dient der Selbstständigkeit beim Lernen und Reflektieren und erhöht die Klarheit in der Performanz und Leistungsfeststellung (Schröder 2014, Tschekan 2014).
3. **Materialanalyse:** Mit dem Naturphänomen Riesenwelle in der ARD-Dokumentation (Videosequenz) soll ein kognitiver Konflikt bei den Schülerinnen und Schülern erzeugt werden. Kompetenzerwerb ist besonders nachhaltig, wenn die Unterrichtssituation von den Lernenden als spannend und sinnvoll empfunden wird (Schröder 2014, Fritz 2019). Der Fachartikel (Arbeitsblatt 1) dient zum selbstständigen Arbeiten und Austausch mit den Mitschülern, um Fragestellungen zu identifizieren und zu entwickeln. In der zweiten Arbeitsphase (Arbeitsblatt 2) haben die Lernenden die Freiheit, unterschiedliche Lernwege auszuwählen. Der Unterrichtseinstieg, die Hausauf-

gabe und die Aufgabenstellung des Kompetenzchecks beziehen sich auf Alltagssituationen, um die Gemütsreaktion der Schülerinnen und Schüler positiv anzusprechen und kognitiv zu aktivieren.

4. Methodenanalyse: Die ausgewählten Methoden (wachsende Gruppe, offene Fragestellung, Placemat) unterstützen selbstgesteuertes und handelndes Lernen passend zur Unterrichtsphase. Die Arbeitsaufträge bieten eine Offenheit der Lernwege an, sodass die Schülerinnen und Schüler eigenverantwortlich den Prozess mitgestalten können. Stellenweise ermöglichen die Aufgabenstellungen eine Differenzierung (siehe Arbeitsblatt 2).

In kooperativen Lernformen findet ein Austausch zwischen den Schülerinnen und Schülern statt. Gemeinsames Wissen wird konstruiert und Teilkompetenzen werden kumulativ ausgebildet (Lersch, 2013). Austauschphasen im Plenum und Instruktionsphasen dienen zur Ergebnissicherung und Kontrolle für den weiteren Unterrichtsverlauf (Tschekan 2014).

Die Unterrichtsstunde geht von einer realen Begebenheit aus, deren physikalisches Grundprinzip sowohl experimentell als auch mithilfe eines Simulationsprogramms im weiteren Unterrichtsverlauf modelliert wird (E4). Bei der Bearbeitung des Arbeitsblattes 1 identifizieren und entwickeln die Schülerinnen und Schüler Fragestellungen und Hypothesen aufgrund der Aufgabe, welche Zusammenhänge, Aspekte und Fakten von Bedeutung sein könnten (E1). Aus der Besprechung der Ergebnisse des Arbeitsblattes 1 ergibt sich das Thema der Unterrichtsstunde „Überlagerung von mechanischen Wellen“. Auf die Ich-kann-Liste der vorangegangenen Hausaufgabe wird bei der Angabe der Zielsetzung der Unterrichtsstunde hingewiesen.

Zur Einführung in die zweite Arbeitsphase gibt die Lehrkraft technische Informationen zur Wellenwanne und zum Simulationsprogramm. In dieser Arbeitsphase haben die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit, unterschiedliche Lernwege auszuwählen, um die Aufgaben zu bearbeiten. Die Fragestellung ist offen formuliert. Die Auswahl und Gruppenbildung erfolgen selbstständig und nach Interesse. Anhand der Zielsetzung und der bisher erworbenen Kompetenzen kann nachvollzogen werden, welche Handlungen zur Bearbeitung erforderlich sind. Bei Bedarf stehen gestufte Hilfen gemäß der Musterlösung zur Verfügung. Die wesentlichen Erkenntnisse werden an der Tafel gesichert. Zur Binnendifferenzierung können leistungsfähigere Schülerinnen und Schüler eine Zusatzaufgabe bearbeiten.

In der dritten Arbeitsphase planen die Lernenden fragengeleitet die experimentelle Durchführung der Interferenz von Schallwellen mit zwei kleinen Lautsprechern im Klassenzimmer (E5).

Für die Erarbeitung der Grundlagen der Wellenlehre sind akustische Wellen besonders geeignet, die Untersuchung experimentell durchzuführen. Sie ermöglichen es, die Ausbreitung der Wellen im Raum zu veranschaulichen, während die Wasserwellen als Oberflächenwellen nur die flächenhafte Ausbreitung zeigen. Die akustischen Wellen bilden als Typ der longitudinalen Wellen auch eine sinnvolle Ergänzung zu den Wasserwellen, die in der Regel nur als transversale Wellen betrachtet werden.

Die Lernenden erlaufen beim akustischen 2-Quellenexperiment die Maxima und Minima des Interferenzmusters. Mithilfe der Interferenztheorie werden die Lautstärkeschwankungen erklärt (E6), dabei

werden die Lautstärkeunterschiede mehr oder weniger deutlich wahrgenommen. Die Lernenden beurteilen die Abweichung der theoretischen Erwartung von dem experimentell erfahrenen Interferenzmuster und analysieren die Konsequenzen für die Interpretation der Ergebnisse (E7, E9).

Als Hausaufgabe sollen die Lernenden mit den erworbenen Fachkompetenzen Informationen zu einem Noise-Cancelling-Kopfhörer beurteilen und eine eigene Meinung bilden (E10, B3). Ein Ziel im Bereich der Bewertungskompetenz ist es, sich kriteriengeleitet (B3) ein Urteil zu bilden und Entscheidungen zu treffen. Der Standard B3 (entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab) wird an einem aktuellen Thema illustriert (Binder 2017): Ausblendung des Umgebungslärms durch Noise-Cancelling-Kopfhörer. Dabei werden plausible Kriterien für den Betrieb eines Kopfhörers vorgegeben. Die Lernenden sollen in der Hausaufgabe anhand vorgegebener Kriterien (A) bis (D) beschreiben, wie ein optimaler Hörgenuss mittels moderner Kopfhörertechnik möglich ist. Eine Vertiefung ergibt sich daraus, dass die Lernenden die gegebene Liste erweitern und die Auswirkung dieser Erweiterung erläutern sollen. Basierend auf dem Basiskonzept des Superpositionsprinzips geht es fachlich in erster Linie um die Interferenz von akustischen Wellen.

Der Einsatz des Kompetenzchecks, mit einer komplexen Aufgabenstellung zur Raumakustik eines Konzertsaaes, ist nach der Doppelstunde 7 + 8 möglich. Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe haben Bewertungsprozesse mehrfach durchgeführt und für die exemplarische Berechnung des 1. Minimums sind einfache mathematische Kenntnisse ausreichend. Im Rahmen der Lehrplaneinheit Wellen kann der Kompetenzcheck auch zu einem späteren Zeitpunkt eingesetzt werden. Mit einer umfangreicheren und tieferen Mathematisierung sind Maxima und Minima höherer Ordnungen zu berechnen und Interferenzmuster zu interpretieren.

Didaktische Hinweise zur Bewertungskompetenz:

Die Vermittlung eines rationalen Entscheidungsprozesses ist ein wichtiges Ziel des Physikunterrichts. Folgende Entscheidungsstrategien können hierbei verwendet werden (Hostenbach 2011, Höttecke 2013):

- Entscheidung anhand von Kriterien
- non-kompensatorische Entscheidung anhand von Schwellenwerten einzelner Aspekte, z. B. Unterdrücken der Störgeräusche, Preis, Klangqualität, Lautstärke oder Tragekomfort
- kompensatorische Entscheidungsstrategien: Auswählen und Gewichten von Aspekten

Es ist erforderlich, nicht nur physikalische Gesichtspunkte gegeneinander abzuwägen, sondern multiperspektivisch zu argumentieren und dabei zusätzliche Kriterienbereiche (z. B. ökonomische, ökologische, politische oder ethische, B3) zu beachten. Den Lernenden ist es oft nicht möglich, die Argumentationen vollständig nachzuprüfen. Folgende weitere Kriterien können deshalb ebenfalls herangezogen werden:

- Lässt sich die Aussage aus dem eigenen Erfahrungshorizont bestätigen?
- Ist die Argumentation lückenhaft oder intransparent?

- Ist die Argumentation verständlich?

Entscheidend für die Qualität der Bewertung der Noise-Cancelling-Kopfhörer ist nicht das Ergebnis, sondern die Güte und Schlüssigkeit der für die Entscheidung gegebenen Begründung.

Weitere didaktische Bemerkungen zu den BPE Schwingungen und Wellen

Die Bildungsplaneinheiten ‚Schwingungen‘ und ‚Wellen‘ in den Jahrgangsstufen basieren auf einem zentralen Konzept. Beide Themengebiete haben klaren Anwendungsbezug und werden unter dem gleichen Gesichtspunkt Periodizität analysiert, bei denen wiederkehrende, periodische, regelmäßige Vorgänge betrachtet und beschrieben werden. Hierzu gehören nicht nur Bereiche in der Mechanik, sondern ebenso in der Akustik, Elektrizitätslehre und Optik, schließlich auch in der Quantenphysik. Es handelt sich also um ein bereichsübergreifendes Konzept mit identischen Methoden und Argumentationsweisen, auch mit gleichen bis ähnlichen mathematischen Zugängen zu unterschiedlichen Vorgängen. (Barth 2011)

In diesen Bildungseinheiten wird aufgezeigt, wie Konzepte durch analoges Schließen auf andere Bereiche übertragen werden können. Es wird vermittelt, wie im Fach Physik zunächst Vorgänge qualitativ beschrieben werden, um anschließend eine quantitative Betrachtung mit einer zunehmenden mathematischen Beschreibung vornehmen zu können. Mit dieser Arbeits- und Vorgehensweise werden Erkenntnisprozesse initiiert und vollzogen. Eine zu frühe Mathematisierung ist zu vermeiden, damit das Konzept nicht sofort hinter Formalismen verschwindet. Die Einführung der Funktionsgleichungen erfolgt mit der Zielsetzung, sie auf die Beobachtungen und Messungen der physikalischen Realität zu übertragen.

3.3.4 METHODISCHE HINWEISE

Die Standards E1 und E2 der Erkenntnisgewinnungskompetenz des ersten Kompetenzteilbereiches ‚Auf Basis von Beobachtungen und Theorien bilden die Schülerinnen und Schüler Fragestellungen und Hypothesen‘ stehen im Unterricht oft am Anfang des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnungsprozesses. Im Arbeitsblatt 1 und 2 werden diese dementsprechend durch die Aufgabenstellung abgedeckt. Ausgehend von dem Superpositionsprinzip und der Interferenz von mechanischen Wellen entwickeln die Schülerinnen und Schüler Fragestellungen und Hypothesen, die anschließend experimentell überprüft werden.

Die Schülerinnen und Schüler

- E 1 identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten;
- E 2 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf.

Die Standards E4 und E5 gehören zum zweiten Kompetenzteilbereich ‚Fachspezifische Modelle nutzen die Schülerinnen und Schüler zur Untersuchung von Sachverhalten‘ der Erkenntnisgewinnungskompetenz. Der Modellierungsaspekt des Standards E4 wird im Arbeitsblatt 2 abgebildet. In den Teil-

aufgaben 1 und 2 ist der Einsatz von Experimenten und von digitalen Werkzeugen als Unterstützung bei der Modellierung möglich. Der Standard E5 wird im Arbeitsblatt 3 gefördert.

Die Schülerinnen und Schüler

- E 4 modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen;
- E 5 planen geeignete Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung.

Im dritten Kompetenzteilbereich ‚Interpretieren und reflektieren von Erkenntnisprozessen und Ergebnissen‘ wird mit den Standards E6, E7 und E9 das Ergebnis des Erkenntnisgewinnungsprozesses stärker in den Blick genommen. Die Schülerinnen und Schüler vergleichen und analysieren im Experiment des Arbeitsblattes 3, inwieweit die experimentellen Ergebnisse mit einer konstruktiven und destruktiven Interferenz korrelieren. Nach dem Experiment sollen die Schülerinnen und Schüler ihre Erfahrungen reflektieren, indem sie Messunsicherheiten berücksichtigen und beurteilen, ob das Modell für den dreidimensionalen Raum geeignet ist.

Die Schülerinnen und Schüler

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

Der Standard E10 gehört zum vierten Kompetenzteilbereich ‚Die Schülerinnen und Schüler reflektieren wissenschaftliche Aussagen und Methoden‘. Die Schülerinnen und Schüler sollen das Modell zur Interferenz anwenden. Sie

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

Der Standard B3 der Bewertungskompetenz gehört zum zweiten Kompetenzteilbereich ‚Kriteriengeleitet Meinungen bilden und Entscheidungen treffen‘. Die Schülerinnen und Schüler sollen kriteriengeleitet eine Entscheidung für den praktischen Einsatz von Noise-Cancelling-Kopfhörern treffen und sich positionieren. Sie

- B 3 entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegen einander ab.

3.3.5 ARBEITSMATERIALIEN/AUFGABEN

Im Anhang sind folgende Materialien angefügt:

1. Ich-kann-Liste; Tafelbild; Arbeitsblätter 1, 2 und 3 mit Musterlösungen; Infoblatt zu Arbeitsblatt 2; Placemat-Vorlage; Hausaufgabe mit Musterlösung; Kompetenzcheck.
2. Gestufte Hilfen für Arbeitsblatt 2, Aufgabe 1 und 2.

3.3.6 WEITERFÜHRENDE HINWEISE/LINKS

Literaturverweise

Barth, Michael (2011): Schwingungen und Wellen. In: NiU-Physik (2011) Nr. 125, S. 4–10.

Binder, Hopf (2017): Wesentliche Bereiche – ein Vorschlag für die Umsetzung des kompetenzorientierten Lehrplans für die neue Oberstufe. In: Plus Lucis, Kompetenz Physik, S. 35–36.

Fritz, Laueremann, Paechter, Stock, Weirer (2019): Kompetenzorientierter Unterricht, Barbara Budrich Verlag, S. 29–34.

Höttecke, Wodzinski (2013): Kompetenzbereich Bewerten. In: NiU (2013) Nr. 134, S. 4–18.

Hostenbach, Fischer, Kauertz, Mayer, Sumfleth, Walpuski (2011): Modellierung der Bewertungskompetenz in den Naturwissenschaften zur Evaluation der Nationalen Bildungsstandards. In: Zeitschrift für Didaktik der NaWi, S. 261–288.

Lersch, Schreder (2013): Grundlagen kompetenzorientierten Unterrichtens, Barbara Budrich Verlag, S. 32–45.

Schröder, Wirth (2014): 99 Tipps Kompetenzorientiert unterrichten, Cornelsen Verlag, S. 36–45.

Tschekan, Kerstin (2014): Kompetenzorientiert unterrichten, Cornelsen Verlag, S. 45–59 und 120–124.

4 Umsetzungsbeispiele für Vertiefung – individualisiertes Lernen – Projektunterricht (VIP)

4.1 Energie und Leistung (BPE2)

Um den Themenbereich Energie mit all seinen Begrifflichkeiten im VIP-Bereich noch sprachlich zu verankern, wäre es bereits zu Beginn des Themas möglich, sich auf die Suche nach den Energiebegriffen in zahlreichen Artikeln aus Zeitungen und Zeitschriften zu begeben. Dabei könnte der Bedeutung der unterschiedlichen zum Themenbereich Energie gehörenden Begrifflichkeiten auf den Grund gegangen werden, vor allem, wenn diese, wie so oft, missverständlich, wenn nicht gar falsch dargestellt werden.

Darüber hinaus gibt es immer wieder Zeitungsartikel, die unbekanntere Möglichkeiten der Energiegewinnung und -speicherung darstellen. Exemplarisch werden hier zwei Artikel vorgestellt: Ein Artikel spürt der Frage nach, wie die Wärme des Bodensees genutzt werden könnte, um im Winter öffentliche wie private Gebäude zu beheizen („Potenzial wie ein Atomkraftwerk“ – Schwäbische Zeitung 19.11.2019). Ein weiterer Artikel beschäftigt sich mit einem Forschungsprojekt, bei welchem mithilfe

großer, hohler Betonkugeln auf dem Grund des Bodensees Energie gespeichert werden soll („Energie durch die Kugel“ – Schwäbische Zeitung 04.03.2017). Mit solchen Zeitungsartikeln bzw. Veröffentlichungen lässt sich einerseits schon zu Beginn der Unterrichtseinheit Energie und Leistung die Fachsprache schärfen. Andererseits ermöglicht die (erneute) Beschäftigung mit solchen Artikeln am Ende dieser Einheit mit angestellten Berechnungen eine Begegnung auf einem höheren Niveau.

4.2 Induktion (BPE 8)

Wie bereits betont, sind die vorgesehenen 19 h für die BPE Induktion so knapp bemessen, dass der VIP-Bereich intensiv genutzt werden sollte.

Ein großer Themenbereich lässt sich unter dem Stichwort nachhaltige Energieversorgung in Deutschland und Europa zusammenfassen. Um erneuerbare Energieformen effizient nutzen zu können, sind neue Strukturen notwendig. Fundierte und kritische Recherchen hierzu bieten eine Reihe von Möglichkeiten, um der Kommunikations- und Bewertungskompetenz einen breiten Raum zu geben.

Was versteht man unter intelligenten Netzen, wie sind sie aufgebaut und welche Veränderungen bringen sie für die Verbraucherinnen und Verbraucher mit sich? Ein Thema hierzu kann die Übertragung hoher elektrischer Leistung mit Gleichstrom bei hoher elektrischer Spannung (HGÜ, www.energielexikon.info) sein. Will man technische Kompetenzen mehr in den Vordergrund rücken, lohnt eine Auseinandersetzung mit den prinzipiellen Aspekten der Wechselstromtechnik. Berechnungen mit Zeigerdiagrammen bieten hervorragende Möglichkeiten, die man später im Bereich der Quantenmechanik wieder nutzen kann. Viele Schülerinnen und Schüler interessieren sich für komplexe Zahlen und deren Darstellungen. Mit GeoGebra lassen sich Beispiele anschaulich realisieren. Hierzu gibt es zahlreiche Erklärfilme (s. <https://www.youtube.com/watch?v=mcB4MDH0z3k>).

Das spannende Thema Elektromobilität lässt sich mit den Themen ‚induktives Laden‘ und den neuesten technischen Entwicklungen in den Bereichen der Motoren- und Generatorentechnik verbinden, (s. Induktives Laden und Co: So laden E-Autos in Zukunft Strom, https://www.volkswagen.de/de/e-mobilitaet-und-id/id_magazin/e-mobilitaet/zukunft_des_ladens.html). Das induktive Laden spielt auch bei vielen Geräten des Alltags eine bedeutende Rolle. Mit Energiemessungen lassen sich beispielsweise Wirkungsgrade bestimmen.

Ein ebenfalls sehr wichtiges VIP-Thema kann die kritische Betrachtung der im Netz vorhandenen Erklärfilme sein. Die Inhalte dort und die verwendete Sprache weisen zum Teil haarsträubende Fehler auf. Die Schülerinnen und Schüler können sich hier als ‚Fachsprachendetektiv‘ auf die Suche machen und Fehler aufdecken. Ein solches Projekt stärkt die Medienkritikfähigkeit der Lernenden. Eigene Erklärvideos mit sprachlich und fachsprachlich korrekten Erläuterungen zu erstellen, motiviert interessierte Schülerinnen und Schüler. Der technische Aufwand hierzu hat sich, dank der medientechnischen Entwicklungen, deutlich verringert.

4.3 Wellen (BPE 10)

Im Themenbereich mechanische Wellen erfolgt eine experimentelle und theoretische Vertiefung in der Betrachtung von akustischen Wellen. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen und beschreiben mathematisch die Messergebnisse mit Ultraschall bei der 2-Punktquellen-Interferenz und stehenden Wellen. Sie beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen bei Untersuchungen von organischem Gewebe und technischen Strukturen. Mithilfe digitaler Verfahren werden die Spektren von Klangerzeugern bestimmt und analysiert.

Mit dem Themenbereich Interferometrie erfolgt eine Vertiefung des Themas Interferenz auf erhöhtem Niveau. Der Aufbau und die Funktionsweise eines Interferometers wird anhand eines Experiments erarbeitet und sachkompetent besprochen. Die Schülerinnen und Schüler erkennen die Interferometrie als Grundlage für ein Verfahren zur extrem genauen Messung von Längendifferenzen. Sie reflektieren die Ergebnisse von historischen und aktuellen Experimenten.

Im Themenbereich elektromagnetische Wellen erfolgt eine experimentelle und mathematische Vertiefung anhand der Besprechung von Einzelspalt und von optischen Reflexions- und Transmissionsgittern. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen und beurteilen die Spektren unterschiedlicher monochromatischer und polychromatischer Lichtquellen, auch Energiesparlampen, unter Verwendung digitaler Messwerterfassungssysteme oder selbstgebauter Spektrometer. Sie prüfen Informationsquellen hinsichtlich der Kriterien Korrektheit, Fachsprache und Relevanz für den untersuchten Sachverhalt. Theoretische Überlegungen und Modelle werden von den Schülerinnen und Schülern bei optischen Interferenzen in Alltagssituationen angewandt und reflektiert.

Die Schülerinnen und Schüler führen eine Bewertung beim Vergleich von Röntgenuntersuchungen gegenüber der Magnetresonanztomographie durch. In der Lernaufgabe (https://www.iqb.hu-berlin.de/bista/UnterrichtSekII/nawi_allg/physik) sind die einzelnen Schritte dieses rationalen Bewertungsprozesses illustriert. Fachlich sind grundlegende Kenntnisse über den Aufbau von Atomen und die Wirkung ionisierender Strahlung auf den menschlichen Organismus auf dem Niveau des mittleren Schulabschlusses ausreichend. Hinsichtlich der Wirkung von Magnetfeldern ist die tiefe fachliche Auseinandersetzung mit der Funktionsweise des MRT nicht unmittelbar vorgesehen, jedoch im Rahmen einer weiteren Vertiefung möglich.

Die Wiederholung der geometrischen Optik mit Reflexions-, Brechungs- und Abbildungsgesetz der Sekundarstufe I erfolgt handlungsorientiert.