

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Welche Bedingungen muss eine Darstellung des
elektromagnetischen Spektrums erfüllen, dass
Schülerinnen und Schüler erfolgreich damit
arbeiten können?“

verfasst von / submitted by

Bernhard Berger, BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien, 2020 / Vienna 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 199 520 523 02

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Lehramt Sek (AB) Lehrverbund
UF Mathematik Lehrverbund
UF Physik Lehrverbund

Betreut von / Supervisor:

Univ.- Prof. Dr. Martin Hopf

Mitbetreut von / Co-Supervisor:

Mag. Dr. Thomas Plotz

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Elektromagnetische Strahlung	3
2.1. Geschichtlicher Aspekt zur Strahlung	4
2.1.1. Geschichte der elektromagnetischen Wellen	5
2.1.2. Geschichte der Lichtgeschwindigkeit	6
2.1.3. Geschichte des elektromagnetischen Spektrums	8
2.2. Welle oder Teilchen?	10
2.2.1. Lichtstrahlung als Welle	11
2.2.2. Elektromagnetische Wellen	13
2.2.3. Lichtstrahlung als Teilchen	16
2.2.4. Welle-Teilchen-Dualismus	17
2.3. Strahlungsarten im elektromagnetischen Spektrum	18
2.3.1. Wechselströme	19
2.3.2. Radiowellen	20
2.3.3. Mikrowellen	21
2.3.4. Infrarotstrahlung	23
2.3.5. Sichtbare Strahlung	24
2.3.6. UV-Strahlung	26
2.3.7. Röntgenstrahlung	28
2.3.8. Gammastrahlung	29
2.4. Gemeinsamkeiten und Unterschiede	31
2.5. Das elektromagnetische Spektrum	33
2.6. Zusammenfassung	35
3. Elektromagnetische Strahlung im Unterricht	36
3.1. Didaktische Analyse	36
3.1.1. Elementare Grundideen	40
3.1.2. Einordnung im Lehrplan	41
3.1.3. Bedeutung für die Lernenden	42
3.2. Schülervorstellungen	43

3.2.1.	Schülervorstellungen beeinflussen den Unterricht.....	44
3.2.2.	Schülervorstellungen im Alltag.....	47
3.2.3.	Conceptual Change.....	48
3.2.4.	Schülervorstellungen zur elektromagnetischen Strahlung	50
3.3.	Zusammenfassung.....	51
4.	Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums	53
4.1.	Darstellungen im Physikunterricht.....	54
4.2.	Elektromagnetische Spektren in Schulbüchern.....	57
4.3.	Bedingungen für Darstellungen in Schulbüchern.....	63
4.4.	Bedingungen für elektromagnetische Spektren.....	65
5.	Fachdidaktische Forschung.....	68
5.1.	Forschungsfragen	68
5.2.	Forschungsmethode	70
5.3.	Entwickelte Aufgaben.....	71
5.4.	Forschungsfeld.....	78
5.5.	Ergebnisse.....	79
5.5.1.	Ergebnisse der Aufgaben.....	82
5.5.2.	Vor- und Nachteile der verschiedenen Spektren	92
5.5.3.	Fazit der elektromagnetischen Spektren	96
6.	Diskussion und Ausblick	97
7.	Literaturverzeichnis.....	102
8.	Anhang.....	107
8.1.	Abstract Deutsch	107
8.2.	Abstract Englisch.....	108

1. Einleitung

Das elektromagnetische Spektrum bietet viele Informationen über alle uns bekannten Arten von elektromagnetischer Strahlung. Die Kerninformation des elektromagnetischen Spektrums ist dabei die Einteilung der elektromagnetischen Strahlen anhand der Frequenz oder der Wellenlänge. Da Schülerinnen und Schüler immer wieder im Unterricht vor der Herausforderung stehen, Informationen aus Darstellungen ablesen und interpretieren zu müssen, könnte eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums eine besondere Herausforderung darstellen. Wirft man einen Blick in die österreichischen Schulbücher für den Physikunterricht der Sekundarstufe II, so wird man unterschiedliche Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums finden. Jede einzelne Darstellung ist unterschiedlich, jedoch beinhalten alle Darstellungen die Kerninformation, die Abhängigkeit der Strahlung von einem bzw. mehrerer Parameter.

Im Rahmen dieser Masterarbeit soll erforscht werden, welche der unterschiedlichen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums von Schülerinnen und Schülern genutzt wird. Dabei stellt sich die Frage, ob Schülerinnen und Schüler überhaupt mit dem elektromagnetischen Spektrum arbeiten können und wenn dies der Fall ist, welche Bedingungen muss eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums erfüllen, damit der Arbeitsvorgang erfolgreich ist.

Für diese fachdidaktische Forschung wird zuerst eine fachliche Klärung durchgeführt. Dabei wird im zweiten Kapitel die Geschichte des elektromagnetischen Spektrums erarbeitet und dann anschließend alle verschiedenen Arten von elektromagnetischer Strahlung beschrieben.

Im darauffolgenden Kapitel wird die elektromagnetische Strahlung im Unterricht vorgestellt, wobei nur ein kleiner Auszug einer fachdidaktischen Analyse durchgeführt und speziell auf Schülervorstellungen zu diesem Thema eingegangen wird.

Anschließend werden fünf Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums aus den österreichischen Schulbüchern der Sekundarstufe II für den Physikunterricht präsentiert und beschrieben. Dabei werden vier verschiedene Schulbücher für den Physikunterricht der AHS aus der Schulstufe 11 verwendet und noch zusätzlich ein Schulbuch für den Physikunterricht der BHS aus der Schulstufe 9.

Anhand dieser Darstellungen und der Literatur „Physikdidaktik“ von Kirchner et al. werden Bedingungen für Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums erarbeitet. Mithilfe von eigens für das elektromagnetische Spektrum entwickelten Aufgaben, die von Schülerinnen und Schülern in zwei unterschiedlichen Schulen bearbeitet werden, sollen die Darstellungen und damit auch die Bedingungen bewertet werden.

Aus den Ergebnissen der fachdidaktischen Forschung soll gefolgert werden, ob Schülerinnen und Schüler fähig sind das elektromagnetische Spektrum als Hilfsmittel zu verwenden, und welche Bedingungen notwendig sind, um mit einer Darstellung des elektromagnetischen Spektrums erfolgreich arbeiten zu können. Zusätzlich soll aus den Ergebnissen gefolgert werden, welche der Darstellungen die Schülerinnen und Schüler weiterhin verwenden wollen bzw. welche Vor- und Nachteile die jeweiligen Darstellungen haben. Somit soll geklärt werden, welche Komponenten die Schülerinnen und Schüler in den Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums benötigen, um dieses als Hilfsmittel verwenden zu können.

2. Elektromagnetische Strahlung

Strahlung ist nicht nur Gammastrahlung, Röntgenstrahlung oder die Strahlung des Handys, die sogenannte Mikrowellenstrahlung. Die elektromagnetische Strahlung ist viel mehr als nur diese drei Beispiele, sie ist ein ganzes Spektrum voller unterschiedlicher Arten von Strahlungen.

Die elektromagnetische Strahlung ist für das menschliche Auge überwiegend unsichtbar. Nur ein sehr geringer Bereich des gesamten elektromagnetischen Spektrums ist für uns Menschen sichtbar, die sogenannte Lichtstrahlung oder auch sichtbare Strahlung.¹

Als elektromagnetische Strahlung wird der Energieübertrag durch elektromagnetische Wellen bezeichnet. Eine elektromagnetische Welle ist eine Verknüpfung des elektrischen und des magnetischen Feldes. Wenn beide Felder als Vektoren angesehen werden, so stehen diese immer senkrecht aufeinander und auf der Ausbreitungsrichtung der Welle. Daraus lässt sich folgern, dass elektromagnetische Wellen Transversalwellen sind. Die Felder sind zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort im Raum miteinander verknüpft. Diese Verknüpfung wird durch die Gleichung

$$E = cB$$

dargestellt. Dabei wird mit E das elektrische Feld beschrieben und mit B das magnetische Feld. Die Konstante c , die beide Felder miteinander verbindet, ist die Lichtgeschwindigkeit.²

¹ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. Springer Vieweg. 2017. S. 125.

² Vgl.: TIPLER Paul, MOSCA Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 7. Deutsche Auflage. Springer Spektrum. 2015. S. 988.

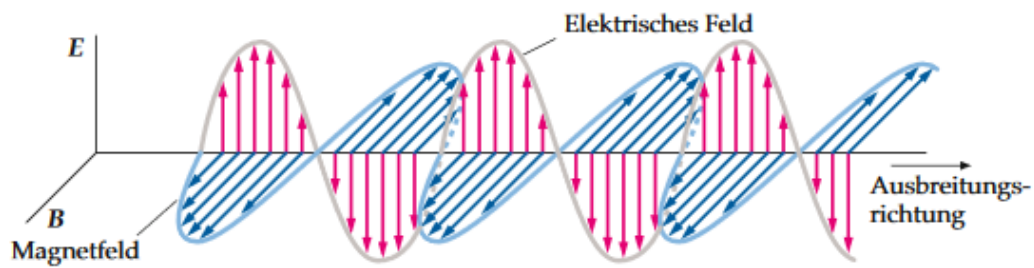


Abb. 1: Elektrischer und magnetischer Feldvektor einer elektromagnetischen Welle³

In Abbildung 1 kann man die Verknüpfung beider Feldvektoren bei einer elektromagnetischen Welle erkennen. Näheres zu dieser Verknüpfung wird im Unterkapitel 2.2.2. beschrieben.

2.1. Geschichtlicher Aspekt zur Strahlung

In der Geschichte der Menschheit lassen sich immer wieder Menschen finden, die auch noch die heutige Zeit durch ihre Gedanken und Theorien beeinflussen. Archimedes, Pythagoras und etliche andere historische Naturwissenschaftler prägten unsere heutigen Theorien und tun dies teilweise noch immer. Für manche physikalischen Konzepte ist es daher nicht unwesentlich, sich über den geschichtlichen Ursprung zu informieren und damit die Gedanken der Pioniere auf ihrem Gebiet nachzuvollziehen. Im Folgenden wird nun ein kurzer Abschnitt über den geschichtlichen Hintergrund der elektromagnetischen Wellen präsentiert und der nötige geschichtliche Aspekt der Lichtgeschwindigkeit und des elektromagnetischen Spektrums vorgestellt.

³ TIPLER Paul, MOSCA Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 2015. S. 988, Abbildung 27.6 Elektrischer und magnetischer Feldvektor einer elektromagnetischen Welle. Die Felder sind in Phase; sie stehen senkrecht aufeinander und auf der Ausbreitungsrichtung der Welle.

2.1.1. Geschichte der elektromagnetischen Wellen

Der Ursprung der Theorie der elektromagnetischen Wellen entstand dadurch, dass Hans Christian Oerstedt im Jahr 1820 durch Zufall entdeckt hatte, dass in einem metallischen Leiter fließender Strom eine Magnetnadel ablenkt. Dieser Entdeckung folgend gelang es Michael Faraday, die Elektrizität und den Magnetismus als zusammenhängende Naturereignisse zu erkennen. Aufbauend darauf und auf Faradays Erkenntnis, dass elektrische und magnetische Ladungen ein Kraftfeld erzeugen, postulierte James Maxwell die elektromagnetische Feldtheorie. In dieser Theorie beschrieb Maxwell die elektrischen und magnetischen Ladungen als zusammenhängende Welle, die sogenannte elektromagnetische Welle.⁴

Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen errechnete Maxwell aus Versuchsdaten den schon bekannten Wert der Lichtgeschwindigkeit. Daraus folgerte er, dass Licht ein elektromagnetischer Wellenvorgang sein muss. Dies konnte durch Heinrich Hertz am Ende des 19. Jahrhunderts experimentell bestätigt werden. Er experimentierte mit unterschiedlichen Erregern (Oszillatoren) und Empfängern (Resonatoren) von elektrischen Schwingungen. Da bei seinen bisherigen Versuchen beide Apparate relativ nahe standen, vergrößerte er den Abstand so weit, wie es der Hörsaal, in dem er unterrichtete, zuließ. Dabei beobachtete Hertz Erscheinungen, die ihn zu dem Schluss führten, dass diese nur möglich seien, wenn sich die elektrischen Schwingungen als Wellen ausbreiten. Durch diese Erkenntnis versuchte er durch Experimente aus der Optik die Ausbreitung, Polarisierung, Reflexion und Brechung der elektromagnetischen Wellen zu bestimmen. Hertz hatte damit großen Erfolg und bestätigte dadurch die von Maxwell postulierten elektromagnetischen Wellen und damit Maxwells Theorie, dass Licht eine elektromagnetische Welle sei. Wenige Jahre nach den Experimenten von

⁴ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 3.

Hertz wurde die erste technische Anwendung von elektromagnetischen Wellen, die drahtlose Telegraphie, verwirklicht.⁵

2.1.2. Geschichte der Lichtgeschwindigkeit

Der geschichtliche Aspekt in der Physik ist meist ein wichtiger, da viele uns bekannte Theorien ihren Ursprung in der Antike und in der anfänglichen Neuzeit (17. bis 18. Jahrhundert) haben. So haben sich schon viele Personen der Antike mit der Theorie der Lichtgeschwindigkeit beschäftigt und sich die Frage gestellt, ob die Lichtgeschwindigkeit unendlich oder endlich sei.⁶

Im Endeffekt konnte jedoch nur ein Experiment bestätigen oder widerlegen, was sich schon so viele überlegt haben. Schlussendlich war es dann Galileo Galilei, der den Grundstein für dieses Experiment gelegt hat. Er entwickelte ein Fernrohr, mit dessen Hilfe er vier Jupitermonde entdeckte. Von dem Mond, der Jupiter am nächsten ist, genannt Io, bestimmte er die Umlaufzeit, die ungefähr 42,5 Stunden beträgt. Aufgrund dieser Bestimmung erarbeitete Giovanni Cassini Zeittafeln mit den Verfinsterungszeitpunkten des Mondes. Die Verfinsterungszeitpunkte sind die Punkte, an denen der Mond hinter Jupiter steht und somit von der Erde aus nicht sichtbar ist. Diese Tafeln halfen der damaligen Seefahrt als Navigationshilfe.⁷

Ole Rømer zeigte jedoch, dass diese Tafeln sehr ungenau waren, da die Werte davon abhingen, an welchem Ort sich die Erde auf ihrer Umlaufbahn um die Sonne in Bezug auf die Stellung Jupiters auf dessen Bahn um die Sonne befand. Dies war für Rømer klar, da er davon ausging, dass die Lichtgeschwindigkeit endlich sei. Somit würde das

⁵ Vgl.: SEVERIN Hans: 100 Jahre elektromagnetische Wellen. 1. Heinrich Hertz – Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft. Mitteilung aus dem Institut für Hoch- und Höchstfrequenztechnik der RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM, eingelangt am 25.5.1987, Artikel in Frequenz, Band 41, Heft 10, S. 250 – 253.

⁶ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 125.

⁷ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 125 - 126.

Licht von Jupiter zur Erde unterschiedliche Zeiten benötigen. Wenn die Erde und der Jupiter in Opposition (kürzeste Distanz zwischen den Planeten) stehen, so benötigt das Licht eine kürzere Zeitdauer, als wenn die Erde und der Jupiter in Konjunktion (größte Distanz zwischen den Planeten) stehen. Die Zeit zwischen diesen zwei Stellungen beträgt ungefähr ein halbes Erdenjahr. Die Umlaufzeit des Planeten Jupiter um die Sonne beträgt fast 12 Erdenjahre, somit bewegt sich Jupiter in einem halben Erdenjahr ungefähr $1/24$ seiner Umlaufbahn weiter. Sei nun t die Bedeckungsdauer des Mondes Io durch Jupiter und Δt der zeitliche Unterschied zwischen den Bedeckungsdauern der Opposition und der Konjunktion. Die Lichtgeschwindigkeit lässt sich dann durch die folgende Formel berechnen.⁸

$$c = \frac{\text{Erddurchmesser}}{\Delta t}$$

Durch mehrfache Messung der Bedeckungszeit innerhalb eines Jahres konnte Rømer den Wert von Δt bestimmen mit $\Delta t = 1320\text{s}$. Die Größe des Erddurchmessers wurde von Cassini bestimmt, somit ergab die Berechnung von Rømer für die Lichtgeschwindigkeit $c = \frac{280 \cdot 10^6 \text{ km}}{1320\text{s}} = 212000 \text{ km/s}$. Dieser Wert, den Rømer im Jahr 1676 berechnet hatte, liegt um fast 30% unter dem heute gültigen Wert der Lichtgeschwindigkeit.⁹

Eine genauere Abschätzung gelang dem englischen Astronomen James Bradley. Ihm gelang im Jahr 1726 durch Bestimmung der Bahngeschwindigkeit der Erde und Beobachtung eines zenitnahen Sternes die Abschätzung der Lichtgeschwindigkeit mit einem Wert von $c = 301031 \text{ km/s}$. Dies ist schon eine sehr genaue Annäherung an den heute gültigen Wert $c = 299792,458 \text{ km/s}$.¹⁰

⁸ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 126.

⁹ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 127.

¹⁰ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 127.

Die ersten auf der Erde stattfindenden Experimente zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit wurden von Hippolyte Fizeau und Léon Foucault im Jahr 1849 durchgeführt. Die Methode, die sie dafür entwickelt haben, nennt sich die Zahnradmethode. Bei dieser Methode werden eine Lichtquelle, ein Zahnrad und ein Spiegel benutzt. Das Zahnrad hat z Zähne und eine Drehfrequenz ν . Die Zeitdauer $t = 1/\nu z$ wird gemessen von einer Lücke auf einer Stelle, bis die gleiche Lücke wieder auf derselben Stelle ist. Der Spiegel befindet sich im Abstand s zum Zahnrad. Wenn man nun einen Lichtstrahl durch diese Lücke schickt, so legt das Licht die Strecke $2s$ von Zahnrad bis zum Spiegel und vom Spiegel bis zum Zahnrad zurück. Die Zeit, die das Licht für diese Strecke benötigt, muss gleich t sein, ansonsten sieht man die Reflexion nicht. Fizeau verwendete dafür einen Spiegel in 8km Entfernung und kam damit auf einen Wert für die Lichtgeschwindigkeit mit $c = 315000\text{km/s}$. Foucault verbesserte diese Methode und hat mithilfe von Drehspiegeln ein Jahr später (1850) den heute gültigen Wert bestimmt. Dabei wird von einer Lichtquelle auf einen schnell rotierenden Spiegel Licht geschickt. Dieser reflektiert den Lichtstrahl auf einen anderen Spiegel weiter, jedoch erscheint der Lichtstrahl um einen gewissen Betrag X verschoben. Durch diese Ablenkung und die Rotationsgeschwindigkeit des Drehspiegels konnte er den Wert der Lichtgeschwindigkeit bestimmen.¹¹

2.1.3. Geschichte des elektromagnetischen Spektrums

Wenn man im Alltag von Licht spricht, so meint man üblicherweise den sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums. Jedoch kannte man bis Anfang des 19. Jahrhunderts auch keinen anderen Bereich des Spektrums. Erst im Jahr 1800 entdeckte der britische Astronom William Herschel durch ein Experiment, dass das Licht auch über den sichtbaren Bereich hinaus geht. Bei diesem Experiment benutzte er ein Prisma, um das natürliche Licht der Sonne aufzuspalten, und ein Thermometer, um von den verschiedenen Farben die Temperatur zu messen. Als er das

¹¹ Vgl.: HANSLMEIER Arnold: Das helle und das dunkle Universum. Springer Spektrum. 2017. S. 152 – 153.

Thermometer neben das rote Licht zur Seite legte, stellte er fest, dass die Temperatur noch weiter anstieg. Er folgerte daraus, dass es noch Licht neben dem sichtbaren Bereich geben muss, und nannte dieses Licht „Infrarotlicht“. Dies war die erste große Entdeckung die gemacht wurde, um das elektromagnetische Spektrum zu erweitern. Zu dem bekannten sichtbaren Bereich des Lichtes wurde nun ein Bereich des unsichtbaren Lichtes zum Spektrum hinzugefügt.¹²

Im Jahr 1801 entdeckte der deutsche Wissenschaftler Johann Ritter, dass ein Bereich neben der Farbe Violett Silberhalogene dunkler macht. Er nannte diesen Bereich „Chemische-Strahlung“, jedoch wurde der Name im späten 19. Jahrhundert dann umgewandelt in „ultraviolettes Licht“, als dieser Bereich intensiver erforscht wurde. Dadurch hatte das elektromagnetische Spektrum neben dem sichtbaren Bereich auch zwei direkt angrenzende unsichtbare Bereiche.¹³

Das elektromagnetische Spektrum wurde dann 1864 erweitert, als Maxwell seine Theorie der elektromagnetischen Wellen postulierte. Durch die Entdeckung, dass elektromagnetische Wellen auch Lichtgeschwindigkeit besitzen, wurde daraufhin Licht mit dem Begriff „elektromagnetische Strahlung“ gleichgesetzt. Maxwell folgerte aus seinen vier postulierten Gleichungen, dass es noch mehr „Arten“ von elektromagnetischer Strahlung, in einem gewissen Wellenlängen- bzw. Frequenzbereich, geben muss. Der ganze Bereich an möglichen Wellenlängen und Frequenzen für die elektromagnetische Strahlung soll durch das elektromagnetische Spektrum dargestellt werden. Hertz zeigte mit seinen Experimenten, dass dies möglich ist, und bestimmte eine der ersten Wellenlängen der sichtbaren Strahlung. Nach und nach wurde durch die Entdeckungen der Röntgenstrahlen, der Gammastrahlen und der Mikrowellenstrahlung das Spektrum vervollständigt. Aufgrund der Entdeckung von Hertz und Maxwell konnten allen Strahlungen

¹² Vgl.: BALL David: The Electromagnetic Spectrum: A History. Spectroscopy. Volume 22 – 3. 01.03.2007.

¹³ Vgl.: BALL David: The Electromagnetic Spectrum: A History. Spectroscopy. Volume 22 – 3. 01.03.2007.

Wellenlängen und Frequenzen zugeordnet werden und im Spektrum abhängig von der Wellenlänge oder der Frequenz angeordnet werden.¹⁴

2.2. Welle oder Teilchen?

Bis heute sind die Begriffe Welle und Teilchen im Alltag und umgangssprachlich zwei Begriffe, die scheinbar nichts miteinander zu tun haben. Aus der physikalischen Sicht gibt es jedoch Gebiete, in denen die beiden Begriffe nicht voneinander zu trennen sind.

Außer Hertz und Maxwell gab es Ende des 19. Jahrhunderts wenige Wissenschaftler, die einen Zusammenhang zwischen Licht und elektromagnetischen Wellen sahen. In einigen Experimenten zeigte Licht typische Welleneigenschaften, jedoch in anderen Experimenten konnte man deutlich dem Licht typische Teilcheneigenschaften zuordnen. Somit kam es zu einem großen wissenschaftlichen Streit in der Physik, ob denn Licht eine Wellenbewegung sei oder ob es aus Lichtteilchen bestehe. Es gab somit zwei Theorien über die Natur des Lichtes. Diese unterschieden sich jedoch so stark voneinander, dass eine von ihnen falsch sein musste.¹⁵

Im kommenden Abschnitt werden nun beide Theorien getrennt voneinander behandelt, um dann im Folgenden beide Theorien miteinander zu verknüpfen. Zusätzlich wird noch das Prinzip einer elektromagnetischen Welle beschrieben.

¹⁴ Vgl.: BALL David: The Electromagnetic Spectrum: A History. Spectroscopy. Volume 22 – 3. 01.03.2007.

¹⁵ Vgl.: MAALAMPI Jukka: Die Weltlinie. Springer Verlag. 2008. S. 22 – 23.

2.2.1. Lichtstrahlung als Welle

Christiaan Huygens entwickelte im 17. Jahrhundert als erstes die Theorie, dass Licht eine Wellenbewegung sein könnte. Er bezeichnete diese Theorie als Undulationstheorie und sprach davon, dass „(...) Licht als eine sich wellenförmig ausbreitende Erregung“¹⁶ gesehen werden muss.¹⁷

Eine Welle ist immer eine räumliche und zeitliche Störung, die sich periodisch ausbreitet. Dies lässt sich gut am Beispiel einer Wasserwelle zeigen. Wenn man einen Teich mit einer ruhigen Wasseroberfläche beobachtet und einen Stein in diesen Teich wirft, so entsteht eine räumliche Störung dieser Oberfläche. Man erkennt sofort, dass mehrere Wellen entstehen und manche Wellen unterschiedlich hoch sind, aber sich alle kreisförmig ausbreiten. Daraus lässt sich folgern, dass Wellen eine Amplitude besitzen und periodisch schwingen. Die Amplitude entspricht dabei der Höhe der Wellen. Jede Welle besitzt eine Ausbreitungsrichtung und eine Schwingungsrichtung. Wellen kann man durch die Schwingungsrichtung in Longitudinalwellen und Transversalwellen unterteilen. Longitudinalwellen schwingen immer parallel zur Ausbreitungsrichtung und Transversalwellen schwingen immer senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.¹⁸

Eine Transversalwelle lässt sich beispielsweise durch einen genauen Blick auf eine Instrumentensaite veranschaulichen. Diese Instrumentensaite wird in ein Zupfinstrument eingespannt. Sobald man diese Saite zupft, entsteht eine Auslenkung. Diese Auslenkung breitet sich entlang der Saite als Welle aus. Die Ausbreitung entsteht dadurch, dass jedes Segment dieser Saite mit dem Segmentnachbarn wechselwirkt. Die Störung, also das Zupfen der Saite, pflanzt sich als Wellenberg mit einer konstanten Ausbreitungsgeschwindigkeit fort. Dadurch entsteht diese typische Wellenbewegung mit ihren Wellenbergen und Wellentälern. Der Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen oder Wellentälern wird Wellenlänge genannt. Die Longitudinalwelle dagegen schwingt immer parallel zur

¹⁶ ZINTH Wolfgang, ZINTH Ursula: Optik. Lichtstrahlen – Wellen – Photonen. De Gruyter Studium. 5. Überarbeitete Auflage. 2018. S. 2.

¹⁷ Vgl.: ZINTH Wolfgang, ZINTH Ursula: Optik. Lichtstrahlen – Wellen – Photonen. 2018. S. 2.

¹⁸ Vgl.: HANSLMEIER Arnold: Das helle und das dunkle Universum. 2017. S. 1 – 2.

Ausbreitungsrichtung. Das heißt, dass sie anstatt von Wellenbergen und Wellentälern eine Komprimierung und eine Ausdehnung besitzt. Ein Beispiel für eine Longitudinalwelle wäre eine Schallwelle in einem Gas oder in einer Flüssigkeit, jedoch ist diese zur Veranschaulichung eher ungeeignet. Als Veranschaulichung ist hier eine mechanische Feder besser geeignet. Wenn eine mechanische Feder eine Auslenkung bzw. eine Störung erfährt, dann wird sie komprimiert und dann wieder ausgedehnt. Die typische Wasserwelle ist jedoch weder eine transversale noch eine longitudinale Welle. Sie ist eine Mischform dieser beiden Klassifikationen und wird oft Schwerewellen genannt. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle ist, wie vorher schon erwähnt wurde, konstant. Diese hängt von der Stärke der Störung und den Eigenschaften des jeweiligen Mediums ab, in dem sich die Welle fortpflanzt.¹⁹

Da sich Wellen nur in einem Medium fortpflanzen können, entwickelte Huygens die Vermutung, dass sich die Erde und das Universum in einem unsichtbaren Medium befinden, dem sogenannten Äther. Damit war das Fortpflanzungsmedium des Lichtes für viele Wissenschaftler geklärt und weiteren Bestätigungen der Wellennatur des Lichtes stand nichts mehr im Wege. Anfang des 19. Jahrhunderts entdeckte Thomas Young mithilfe des Doppelspaltexperimentes die Interferenz des Lichtes und Augustin Fresnel die transversale Richtungseigenschaft von Lichtwellen. Durch die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit war die Wellennatur der Lichtgeschwindigkeit für die meisten Wissenschaftler nun endgültig bestätigt. Zusätzlich postulierte Maxwell, dass Licht eine elektromagnetische Welle sei, was später von Hertz bestätigt wurde.²⁰

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts kamen jedoch wieder Zweifel an der Wellennatur des Lichtes, da von Albert Michelson und Edward Morley durch Interferenzversuche nachgewiesen wurde, dass die Existenz des Mediums Äther nicht gegeben ist. Da Wellen jedoch immer ein Medium benötigen, um sich fortzupflanzen, fingen

¹⁹ Vgl.: TIPLER Paul, MOSCA Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 2015. S. 456 – 458.

²⁰ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 130.

wieder viele Wissenschaftler an zu glauben, dass Licht doch eine Teilchennatur besitzt.²¹

2.2.2. Elektromagnetische Wellen

Als Maxwell seine berühmten Gleichungen postulierte, kam er auf die Idee, diese nicht nur in der ursprünglichen Integralform darzustellen, sondern versuchte, sie in partielle Differenzialgleichungen umzuwandeln. Als er sah, dass diese umgewandelten Gleichungen der Wellengleichung von mechanischen Wellen sehr ähnlich sind, kam er auf den Gedanken, dass sich das elektrische Feld und das magnetische Feld miteinander verknüpft wie ebene Wellen verhalten.²²

Elektromagnetische Wellen können auf mehrere Arten entstehen. Man unterscheidet zwischen spontanen Emissionen, Beschleunigung von Ladungsträgern, Molekülschwingungen, Larmor-Präzession und Bewegung von Elektronen in elektrischen Leitern. Bei der spontanen Emission springen Elektronen von einem bestimmten hohen Energieniveau des Atomkernes auf ein niedrigeres. Dabei kommt es zu einer Emission, die genau der Energiedifferenz der beiden Energieniveaus entspricht.²³

Bei der Erzeugung von elektromagnetischen Wellen durch die Bewegung von Elektronen in elektrischen Leitern passiert dies durch einen elektrischen Wechselstromschwingkreis. Bei einem elektrischen Schwingkreis wird ein Kondensator mit der Kapazität C mit einer Spule mit der Induktivität L in Serie geschaltet. Wird an dem Kondensator die Spannung U zum Zeitpunkt $t = 0$ angelegt und der Stromkreis nach Aufladung des Kondensators geschlossen, so fängt der

²¹ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 130.

²² Vgl.: TIPLER Paul, MOSCA Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 2015. S. 984.

²³ Vgl.: HANSLMEIER Arnold: Das helle und das dunkle Universum. 2017. S. 5.

elektrische Schwingkreis an zu schwingen. Diesen Schwingvorgang kann man bei näherer Betrachtung in vier unterschiedliche Vorgänge einteilen.²⁴

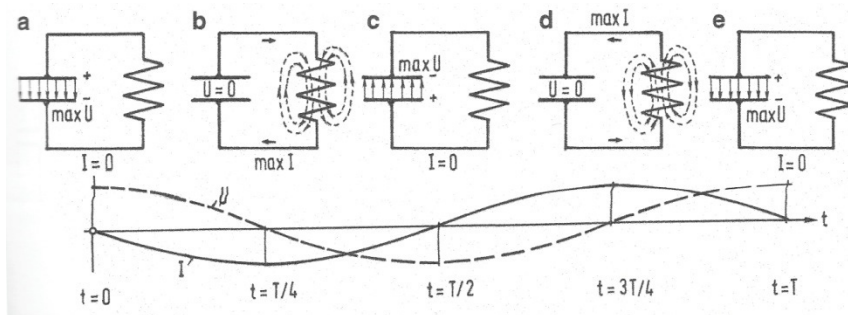


Abb. 2: Vier Vorgänge des Schwingkreises²⁵

In Abbildung 2 kann man alle vier Vorgänge des elektrischen Schwingkreises erkennen. Das elektrische Feld zwischen den Platten des Kondensators hat seine höchste Stärke und dadurch auch die höchste Spannung erreicht. Im Stromkreis fließt noch kein Strom, dadurch ist das Magnetfeld der Spule noch nicht vorhanden. Sobald der elektrische Schwingkreis geschlossen wird, beginnt sich der Kondensator zu entladen und löst damit einen Stromfluss aus. Durch den Stromfluss baut sich in der Spule ein Magnetfeld auf. Bei seiner vollständigen Entladung ist der Strom in der Serienschaltung am stärksten und dadurch erreicht auch das magnetische Feld seine maximale Stärke. Durch den Aufbau bzw. Abfall des Magnetfeldes wurde ein elektrischer Strom induziert, der nun, ausgehend von der Lenz'schen Regel, gegen die Richtung des Magnetfeldes fließt und dadurch im Kondensator ein elektrisches Feld in Gegenrichtung aufbaut. Sobald das elektrische Feld sein Maximum erreicht hat, fließt im Stromkreis kein Strom. Das aufgebaute elektrische Feld und die damit verbundene maximale Spannung setzen wieder einen Stromfluss in Gange, aber wegen des elektrischen Feldes in die Gegenrichtung. Durch den Stromfluss entsteht

²⁴ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 112.

²⁵ PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 113, Abb.: 1.93.

wieder ein magnetisches Feld in der Spule, sobald die Spannung im Kondensator null ist, hat es sein Maximum erreicht. Durch den Aufbau bzw. Abbau des magnetischen Feldes in der Spule wird wieder ein Strom induziert, welcher ein elektrisches Feld im Kondensator aufbaut. Sobald der Kondensator wieder vollgeladen ist, ist der ursprüngliche Ausgangszustand wieder hergestellt und der Schwingvorgang ist vollendet. Wenn die Schwingung nicht gedämpft wird, so wird sie unbegrenzt fortgesetzt. Zusätzlich zu den geschlossenen Schwingkreisen gibt es auch offene Schwingkreise, sogenannte Hertz'sche Dipole. Dabei werden die Induktivität und die Kapazität des Schwingkreises kontinuierlich auf einem Draht verteilt. Die zur Frequenz gehörige Energie wird von diesem Draht als elektromagnetische Welle abgestrahlt. Dieser offene Schwingkreis wurde von Hertz benutzt, um die Theorie der elektromagnetischen Welle von Maxwell zu bestätigen.²⁶

Betrachtet man das elektrische Feld und das magnetische Feld dieser Schwingung in der Vektorschreibweise, so stehen die Vektoren der beiden Felder senkrecht aufeinander. Beide Felder sind in Phase und durch das mathematische Vektorkreuzprodukt ergibt sich aus dem magnetischen Feldvektor und dem elektrischen Feldvektor die Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle. Aus dem Kreuzprodukt kann man schließen, dass beide Felder senkrecht zur Ausbreitungsrichtung stehen. Das bedeutet, dass eine elektromagnetische Welle eine Transversalwelle ist. Beide Felder sind an jedem Ort des Raumes und zu jedem Zeitpunkt miteinander verknüpft, wie schon am Anfang des Kapitels „Elektromagnetische Strahlung“ beschrieben wurde.²⁷

Ein weiteres Indiz dafür, dass Licht eine elektromagnetische Welle ist, fand Maxwell durch eine fundamentale Beziehung zwischen der elektrischen Feldstärke und der magnetischen Feldstärke. Dabei kommt es durch mathematische Vereinfachungen zu einer Gleichung, die die unbekannte Variable der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle löst. Für diese Berechnung werden zwei

²⁶ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 112 – 115.

²⁷ Vgl.: TIPLER Paul, MOSCA Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 2015. S. 988.

Fundamentalkonstanten verwendet, nämlich die elektrische Feldkonstante und die magnetische Feldkonstante. Wenn beide Konstanten in die Gleichung eingesetzt werden, so kommt als Lösung der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle der bis heute gültige Wert der Lichtgeschwindigkeit heraus.²⁸

2.2.3. Lichtstrahlung als Teilchen

Nur wenige Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben die Wissenschaft der Physik so geprägt wie Isaac Newton. Mit seiner Erkenntnis zur Gravitation und dem damit formulierten Gravitationsgesetz legte er den Grundstein für die unter dem heutigen Namen bekannte klassische Mechanik. Jedoch beschäftigte sich Newton nicht nur mit der Gravitation, sondern auch mit anderen großen Fragen der damaligen Physik. Newton entwickelte neue Experimente im Bereich der Optik und erfand eines der ersten Spiegelteleskope, welches auch nach ihm benannt wurde. Zusätzlich interessierte er sich für die Natur des Lichtes. Da er durch einige Experimente die geradlinige Ausbreitung von Licht bemerkte, kam er zu dem Schluss, dass Licht aus kleinen Teilchen bestehen muss. Dabei werden von leuchtenden Körpern die Lichtteilchen mit großer Geschwindigkeit ausgestrahlt. Durch die Theorie der Teilchennatur des Lichtes erklärte Newton die geradlinige Ausbreitung und die Reflexion des Lichtes. Die Theorie der Teilchennatur des Lichtes wurde aber nach Newton immer mehr hinterfragt, da die entstehende Interferenz bei Experimenten nicht mit der Teilchennatur erklärbar ist. Dadurch wurde diese Theorie immer mehr in den Hintergrund gedrängt, während die Theorie der Wellennatur des Lichtes in den Vordergrund trat.²⁹

Am Anfang des 20. Jahrhunderts trat die Theorie der Teilchennatur des Lichtes wieder massiv in den Vordergrund. Dies war zu dem Zeitpunkt, als Albert Einstein

²⁸ Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 120 – 121.

²⁹ Vgl.: HANSLMEIER Arnold: Das helle und das dunkle Universum. 2017. S. 20 – 22.

seine Theorie zum photoelektrischen Effekt veröffentlichte. Dabei postulierte Einstein, dass dieser Effekt nur dann möglich wäre, wenn Licht aus kleinen Teilchen, den sogenannten Photonen, bestehen würde. Der Photoeffekt beschreibt den Vorgang, bei dem Elektronen von Photonen aus einer Metalloberfläche herausgeschlagen werden. Einstein beschrieb die Photonen als Teilchen, die eine Energie besitzen. Diese Energie ist jedoch, wie Max Planck zeigte, gequantelt, das heißt, sie kommt nur als Vielfaches einer Naturkonstante vor. Diese Naturkonstante ist das Planck'sche Wirkungsquantum und besitzt den Wert $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{Js}$. Die Energie der Photonen wird somit durch

$$E = h\nu$$

beschrieben, wobei ν die Frequenz des Photons darstellt. Wenn man versuchen würde, den Photoeffekt mit der Wellentheorie des Lichtes zu erklären, stößt man schnell auf einige Hindernisse und falsche Voraussagen. Der Photoeffekt lässt sich daher nur mit der Teilchentheorie des Lichtes erklären. Auch nach dem Photoeffekt gab es Experimente, deren Erklärung nur möglich ist, wenn Licht aus Photonen besteht.³⁰

2.2.4. Welle-Teilchen-Dualismus

Im Unterkapitel 2.2.1. und im Unterkapitel 2.2.3. wurden jeweils Experimente beschrieben, die mit der jeweiligen Lichttheorie erklärbar sind. Auf der einen Seite zeigt uns das Doppelspaltexperiment den Wellencharakter des Lichtes durch den Interferenzeffekt, auf der anderen Seite hingegen zeigt uns der Photoeffekt den Teilchencharakter des Lichtes.

„In bestimmten Experimenten misst man den Teilchen-, in anderen Experimenten den Wellencharakter. Teilchen können sich wie Wellen verhalten und Wellen wie Teilchen.“³¹ Dieses Zitat von Arnold Hanslmeier beschreibt den Welle-Teilchen-

³⁰ Vgl.: HANSLMEIER Arnold: Das helle und das dunkle Universum. 2017. S. 22 – 26.

³¹ HANSLMEIER Arnold: Das helle und das dunkle Universum. 2017. S. 30.

Dualismus sehr gut. Dies ist nach heutigem Wissen die einzige mögliche Erklärung für die Beobachtungen aus den verschiedenen Experimenten. Licht ist somit weder ein Teilchen, noch eine Welle. Es ist beides und je nach Experiment sieht man von Licht die Teilcheneigenschaften oder die Welleneigenschaften. Da die Lichtstrahlung nun als Welle und auch als Teilchen angesehen werden kann, gilt dies auch für jegliche andere Arten von Strahlung.

Wie schon am Anfang des zweiten Kapitels beschrieben, gibt es einige unterschiedliche Arten von elektromagnetischer Strahlung. Diese lassen sich nicht alle mit der Wellennatur des Lichtes erklären, sondern manche können nur mit der Teilchennatur des Lichtes erklärt werden. Die Energie, die durch die elektromagnetische Strahlung übertragen wird, ist einerseits gequantelt, andererseits hängt sie auch von der Frequenz bzw. Wellenlänge der jeweiligen Welle ab. Wenn die Wellenlänge sehr niedrig ist, so ist die Strahlungsenergie sehr hoch und umgekehrt.³²

2.3. Strahlungsarten im elektromagnetischen Spektrum

Grundsätzlich gibt es im elektromagnetischen Spektrum keine verschiedenen Arten von Strahlung. Alle elektromagnetischen Wellen gehören zusammen, dennoch wird in dieser Arbeit der Begriff „Strahlungsart“ benutzt, um die einzelnen Bereiche des elektromagnetischen Spektrums voneinander zu trennen und zu beschreiben. Im Folgenden werden nun alle möglichen Strahlungsarten bzw. Bereiche des elektromagnetischen Spektrums beschrieben und nach aufsteigender Frequenz gegliedert. Da die Frequenzen ab der sichtbaren Strahlung schon im Terahertz-Frequenzbereich liegen, werden die Strahlungsarten „sichtbare Strahlung“, „ultraviolette Strahlung“, „Röntgenstrahlung“ und „Gammastrahlung“ mit Wellenlängen angegeben.

³² Vgl.: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 133 – 134.

2.3.1. Wechselströme

Die Grundlage für die Erzeugung von elektromagnetischen Wellen auf technischem Wege ist der Wechselstromschwingkreis. Dieser Schwingkreis wurde schon im Unterkapitel 2.2.2. genauer besprochen. Wechselströme haben einen Frequenzbereich zwischen $10^1 - 10^4 \text{ Hz}$ und werden im Spektrum, aufgrund ihrer geringen Frequenz, am Anfang positioniert.

Bei dem offenen Schwingkreis werden die Kapazität und die Induktivität auf einem Draht, der eine Antenne darstellen soll, verteilt. Dieser Draht ist ein Stück leitendes Metall, genauer gesagt ein Dipol und ist halb so lang wie die Wellenlänge des übermittelten Signals. Jedes übermittelte Signal hat die Form von Stromwellen wegen des Wechselstromes. Jeder Dipol ist in zwei Teile geteilt und hat ein Loch in der Mitte. Dieses Loch ist für die Stromwellen leicht überwindbar, soll aber verhindern, dass ein Gleichstrom den Dipol zerstört. Durch den Wechselstrom fließen die Wellen den Dipol bzw. die Antenne hinauf und hinunter. Der Teil der Welle, der hinunter fließt, kann jederzeit die nachkommende Welle auslöschen, wenn die Länge der Antenne nicht ein Viertel der Wellenlänge beträgt. Wenn die Antenne genau diese Größe hat, so können sich die hinabfließenden Wellen gegenseitig verstärken und der im Dipol fließende Strom erreicht seinen Maximalwert. Die Dipole und die damit verbundenen Wechselströme bzw. die Beschleunigung der Ladungsträger erzeugen eine elektromagnetische Welle. Diese elektromagnetische Welle bzw. diese Art von Strahlung wurde in Sendeantennen bzw. Empfangsantennen für die drahtlose Telegraphie benutzt und wird auch heute noch für niederfrequente Übertragung benutzt. Bei einem Gleichstrom ist dies nicht möglich, da Energie immer nur dann abgegeben wird, wenn sich die Ströme ändern.³³

³³ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. Deutschsprachige Ausgabe. Kurfürst Verlag. 1966. S. 62 – 63.

2.3.2. Radiowellen

Radiowellen entstehen durch die im vorherigen Unterkapitel besprochenen Wechselströme. Die Wechselströme erzeugen elektromagnetische Wellen, die in dieser Art von Strahlung jedoch eine höhere Frequenz besitzen als die Wellen, die für die niederfrequente Übertragung genutzt werden. Der Frequenzbereich für Radiowellen beträgt $10^4 - 10^9 \text{ Hz}$ und wird im Spektrum gleich neben den niederfrequenteren Wechselströmen positioniert. Radiowellen werden meist durch ihre Frequenz beschrieben. Wenn man zum Beispiel in einem Auto sitzt und Radio hören will, so kann man durch Einstellen verschiedener Frequenzen unterschiedliche Radiosender empfangen.³⁴

Bei jeder Sendeantenne wird bestimmt, mit welcher Wellenlänge bzw. mit welcher Frequenz die Radiowelle ausgestrahlt wird. Dabei ist zu beachten, dass Sendestationen nicht genau eine Frequenz senden, sondern eine gewisse Bandbreite von Frequenzen. Bei der Empfangsantenne wird das empfangene Signal in einen Wechselstrom mit der Sendefrequenz umgewandelt. Die Empfangsantenne empfängt jederzeit gleichzeitig mehrere verschiedene Signale mit unterschiedlichen Frequenzen. Der Empfangskreis, zum Beispiel ein Radiogerät, wird dann so eingestellt, dass nur ein Signal von vielen verstärkt wird. So empfängt ein Radiogerät jederzeit mehrere Signale und durch Einstellen der Frequenz wird nur ein Signal hörbar. Jedoch besteht ein empfangenes Signal nicht nur aus einer Frequenz, da die empfangenen Frequenzen für das menschliche Ohr zu hoch sind, um etwas wahrzunehmen. Das Radiogerät moduliert die empfangenen Wellen, sodass es für uns Menschen möglich ist, die übermittelten Informationen wahrzunehmen.³⁵

Für Radiosendungen wird der Langwellen-, Mittelwellen- und Kurzwellenbereich benützt. Die Unterscheidung erfolgt hier über die Wellenlänge der jeweiligen Signale. Langwellen und Mittelwellen werden auf kleineren und mittleren Entfernungen benützt. Bei Radiowellen unterscheidet man zwischen Raumwellen und Bodenwellen.

³⁴ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 56 – 59.

³⁵ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 56 – 59.

Wie der Name schon sagt, werden Bodenwellen vom Sender zum Boden gestrahlt und breiten sich nahe am Boden aus. Die Raumwellen werden vom Sender in Richtung des Himmels gestrahlt, sodass der Horizont erreicht wird. Als Raumwellen werden meist Ultrakurzwellen benützt. Diese Art der Wellen hat eine sehr geringe Wellenlänge. Dadurch kann die ionisierende Schicht, die die Erde umgibt, genützt werden, da Radiowellen mit geringer Wellenlänge von der Ionosphäre reflektiert werden. Durch diesen Effekt kann eine sehr große Reichweite trotz recht kleiner Wellenlänge erreicht werden. Radiowellen werden bei großer bis kleiner Wellenlänge für, wie der Name schon sagt, das Radio genutzt. Die Ultrakurzwellen und die Wellen mit noch kleinerer Wellenlänge bzw. höherer Frequenz wurden früher für das Fernsehen genützt.³⁶

2.3.3. Mikrowellen

Mikrowellen sind recht ähnlich den Radiowellen, nur besitzen sie eine kürzere Wellenlänge bzw. eine höhere Frequenz. Der Frequenzbereich der Mikrowellen beträgt $10^9 - 10^{11} \text{ Hz}$ und wird im Spektrum neben den Radiowellen verortet. Mikrowellen sind im Vergleich zu Radiowellen sehr schwer herzustellen und die Weiterleitung über Drähte ist nicht einfach. Dennoch bieten Mikrowellen einen großen Vorteil und werden in vielen Gebieten der Nachrichtentechnik eingesetzt. Mikrowellen können wegen ihrer sehr kleinen Wellenlänge viel mehr Informationen übertragen als langwellige Radiowellen. Durch die sehr kleine Wellenlänge verhalten sich Mikrowellen schon fast wie Lichtwellen. Sie können von einem festen Gegenstand reflektiert und gestreut werden. Dieses zurückgeworfene Wellenbild ist bei kürzeren Wellen viel deutlicher als bei längeren Wellen. Dieser Effekt ist sehr nützlich und wird für Radargeräte verwendet. Die Verwendung von Mikrowellen in der modernen Kommunikation wird immer häufiger. Sie sind zwar schwieriger herzustellen und zu empfangen, jedoch haben sie durch ihre größere Bandbreite an möglichen Frequenzen einen enormen Vorteil im Feld der Kommunikation.

³⁶ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 56 – 59.

Für Mikrowellen wurden eigene Antennen gebaut. Diese dienen dazu, von der eingespeisten Leistung möglichst viel auszustrahlen. Bei Antennen für längere Wellen war dies nicht möglich, da die abgestrahlte Leistung mit abnehmender Wellenlänge wächst.³⁷

Mikrowellen werden mithilfe von Mikrowellenoszillatoren mit stark beschleunigten Elektronen erzeugt. Diese Oszillatoren stecken in eigenen Röhren und werden Klystron oder Magnetron genannt. Beim Klystron werden Hochgeschwindigkeitselektronen benützt, damit sie sich zwischen Kathode und Anode bewegen können. Zwischen der Kathode bzw. der Elektronenquelle und der Anode befinden sich zwei Hohlräume. Diese Hohlräume sind auf eine bestimmte Frequenz abgestimmt und erzwingen dadurch eine Mikrowellenschwingung.³⁸

Beim Magnetron findet man im Inneren, wie der Name schon sagt, Magnete. Auch beim Magnetron gibt es einen Hohlraum, dieser befindet sich jedoch nur bei der Anode. Die Elektronen von der Kathode werden durch die Magnete zu Spiralbahnen abgelenkt, während die Elektronen von der Anode in einem Hohlraum zu schwingen beginnen. Durch die abwechselnden positiven Ladungen der Hohlräume und die entgegenwirkenden negativen Ladungen entsteht eine Schwingung. Das Magnetron muss dabei dauerhaft mit genügend Energie versorgt werden, da sonst die Schwingungen nicht aufrecht erhalten werden können.³⁹

Auch in Mikrowellenherden werden die Mikrowellen mithilfe eines Magnetrons erzeugt. Die erzeugten Mikrowellen in den Mikrowellenherden haben eine ungefähre Wellenlänge von zwölf Zentimetern. Dies entspricht ungefähr der Mitte der Bandbreite der Mikrowellen. Die Mikrowellen im Mikrowellenherd werden zwischen zwei Reflektoren hin- und her reflektiert und sind daher stehende Wellen. Dadurch werden die in Speisen enthaltenen Wassermoleküle in eine Drehbewegung versetzt, wodurch die Temperatur der Speisen erhöht wird. Die Abschirmung des

³⁷ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 69 bzw. S. 81 – 82.

³⁸ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 83 – 84.

³⁹ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 83 – 84.

Mikrowellenherdes geschieht durch einen Metallkäfig bzw. bei der Tür durch ein Metallgitter, welches leicht durch die Glasscheibe erkennbar ist. Jedoch besteht keine Gefahr für den Menschen, da die Mikrowellen sich fortbewegen und der Mensch keinen stehenden Wellen ausgesetzt ist.⁴⁰

2.3.4. Infrarotstrahlung

Die Infrarotstrahlung überträgt mehr Energie als die Mikrowellenstrahlung, da die Frequenz der elektromagnetischen Wellen höher bzw. die Wellenlänge kleiner ist. Die Infrarotstrahlung wird in einem Frequenzbereich von $10^{11} - 10^{14} \text{ Hz}$ übertragen und ist im Spektrum zwischen der sichtbaren Strahlung – direkt neben der Farbe Rot – und den Mikrowellen positioniert. Infrarotstrahlung ist für den Menschen unsichtbar und wird durch Bewegung der Elektronen bzw. Schwingung der Moleküle erzeugt. Diese Form der Strahlung spürt man als Mensch durch die Wärmeempfindung in dem Teil des Körpers, auf den die Infrarotstrahlung trifft.⁴¹

Ein typisches Beispiel für den Einsatz der Infrarotstrahlung ist ein Wärmestrahler. Dabei wird ein Heizelement so stark erhitzt, dass die Energie durch elektromagnetische Wellen abgestrahlt wird. Das Heizelement strahlt auch gleichzeitig etwas sichtbares Licht ab, da man das Glühen des Heizelementes erkennen kann. Die Infrarotstrahlung erwärmt alle Gegenstände, die sich in ihrer Nähe befinden, indem die Gegenstände die Strahlung absorbieren. Die Infrarotstrahlen finden ihren großen Nutzen im alltäglichen Gebrauch in Infrarotlampen. Infrarotlampen haben ähnlich wie Glühlampen einen Heizdraht in einem Glaskolben, welcher innen teilweise mit einer Reflexionsschicht überzogen ist, um die Strahlung in eine gewisse Richtung zu lenken. Der Heizdraht in der Infrarotlampe wird nicht so heiß wie bei einer Glühlampe, da nur ein kleiner Teil der Strahlung sichtbares Licht ist. Damit wird die Infrarotstrahlung bzw. die Infrarotlampe als Wärmequelle benützt. Die größte Wärmequelle und damit

⁴⁰ Vgl.: RATHJE Dirk: Wie erwärmt ein Mikrowellenherd? Welt der Physik. Online Artikel. 28.04.2006.

⁴¹ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 38 – 41.

Infrarotquelle ist die Sonne. Ein kleiner Teil ihrer Infrarotstrahlung wird von der Erdatmosphäre absorbiert, während der größere Teil die Erde erwärmt. Auch im militärischen Bereich wird die Infrarotstrahlung benützt für Infrarotsichtgeräte, auch Nachtsichtgeräte genannt. Nicht alle Nachtsichtgeräte nutzen die Infrarotstrahlung. Es gibt auch Nachtsichtgeräte, die auf andere technische Fertigkeiten – sowie Restlichtverstärker – zurückgreifen. Dabei werden von einer Quelle aus Infrarotstrahlen ausgestrahlt und die reflektierten Strahlen werden von einer Fotokathode und einem Fluoreszenzschirm zu einem sichtbaren Bild umgewandelt.⁴²

Eine Wärmebildkamera hingegen benötigt keine Infrarotlichtquelle. Sie misst die Wärmestrahlung von Objekten und stellt deren Oberflächentemperatur farblich dar. Dabei werden die unsichtbaren Infrarotstrahlen in elektrische Signale umgewandelt und aus diesen elektrischen Signalen wird von der Kamera ein Bild erzeugt. Wärmebildkameras werden zum Beispiel benützt, um bei Arbeitsprozessen die Temperaturen zu überprüfen, oder auch bei Wohnobjekten, um Schwachstellen in der Isolierung zu finden.⁴³

2.3.5. Sichtbare Strahlung

Das menschliche Auge nimmt nur einen sehr kleinen Teil des breiten Spektrums der elektromagnetischen Strahlung wahr, und zwar das Licht. Die Wellen mit einer Frequenz zwischen $4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ und $7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ sind die einzigen Frequenzen, die von uns ohne Hilfe von technischen Geräten erkennbar sind. Der Wellenlängenbereich der sichtbaren Strahlung liegt zwischen 750 nm und 400 nm . Licht wird, wie in Unterkapitel 2.2.4. beschrieben, sowohl als Welle als auch als Teilchen ausgestrahlt. Bei unterschiedlichen optischen Experimenten kann man unterschiedliche Eigenschaften des Lichtes erkennen. Die Hauptquelle des Lichtes ist für uns die Sonne, jedoch kann Licht auch künstlich hergestellt werden. Bis zum Ende

⁴² Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 38 – 41.

⁴³ Vgl.: SCHUSTER Norbert, KOLOBRODOV Valentin: Infrarotthermographie. 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage. 2004. S. 155.

des 20. Jahrhunderts wurde Licht noch durch Hitze erzeugt. Ein gutes Beispiel dafür sind die heute noch immer verwendeten Glühlampen. Die Glühlampe hat innerhalb eines Glaskolbens einen Glühdraht aus einem bestimmten Material, meist Wolfram. Dieser Glühdraht wird durch elektrischen Strom so stark erhitzt, bis er zu glühen beginnt. Durch dieses Glühen wird vor allem Wärme ausgestrahlt. Die überschüssige Energie, die nicht als Wärme ausgestrahlt wird, wird als Licht ausgestrahlt.⁴⁴

Durch neuere Technik gelingt es auch, durch elektrischen Strom ohne notwendige Erwärmung Licht zu erzeugen. Dies funktioniert bei Halbleiterdioden, die aus verschiedenen Schichten bestehen. Vereinfacht gesehen bestehen diese Schichten aus Elektronen und Elektronenlöchern. Wenn Elektronen in einer dieser Schichten mit den Löchern rekombiniert werden, so wird bei ausreichender Energie Licht in Form von Photonen abgestrahlt. Diese Halbleiterdioden nennt man Leuchtdioden oder kurz LED und je nach Material der Halbleiter werden die Photonen mit unterschiedlicher Frequenz abgestrahlt. Dadurch können Leuchtdioden unterschiedliche Lichtfarben abstrahlen.⁴⁵

In der Bandbreite der vorhin beschriebenen Frequenzen sind alle von uns erkennbaren Farben enthalten. Die Farbwahrnehmung passiert jedoch über Sehnerven beim Auge und dem Gehirn.⁴⁶

„Wahrgenommene Farbe und Lichtfrequenz stimmen zwar prinzipiell überein, aber es gibt interessante Abweichungen. Beispielsweise wird eine Mischung aus Rot und Grün als Gelb wahrgenommen, obwohl das einfallende Licht keinen Anteil mit Wellenlängen gelben Lichts aufweist.“⁴⁷

Tipler und Mosca haben mit diesen beiden Sätzen darauf hingewiesen, dass es immer wieder Abweichungen zwischen der wahrgenommenen Farbe und den dazugehörigen Lichtfrequenzen gibt. So kann man daraus folgern, dass nicht jede Farbmischung auch einen Anteil der dazugehörigen Farbfrequenz enthalten muss.

⁴⁴ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 12 – 16.

⁴⁵ Vgl.: BÖHMER Erwin, EHRHARDT Dietmar, OBERSCHELP Wolfgang: Elemente der angewandten Elektronik. Kompendium für Ausbildung und Beruf. 15. Auflage. Vieweg Verlag. 2007. S. 40.

⁴⁶ Vgl.: TIPLER Paul, MOSCA Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 2015. S. 1007.

⁴⁷ TIPLER Paul, MOSCA Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 2015. S. 1007.

Jede Farbe des Lichtes besteht aus einer gewissen Farbmischung. Jedoch wurden in der Physik drei Grundfarben definiert, nämlich Rot, Blau und Grün. Das Prinzip der additiven Farbmischung ist recht trivial, da jede Farbe aus diesen drei Grundfarben gemischt werden kann. Wenn man die drei Grundfarben mit einer gewissen Stärke mischt, so sieht das erhaltene Licht weiß aus. Auch natürliches Licht, zum Beispiel von der Sonne, hat für uns Menschen die Farbe Weiß. Wenn man einen weißen Lichtstrahl auf ein Prisma strahlen lässt, so wird dieser Lichtstrahl in allen enthaltenen Farben aufgespalten. Daher ist weißes Licht eigentlich eine Mischung aus allen Farben.⁴⁸

2.3.6. UV-Strahlung

Die größte Quelle für ultraviolette Strahlen, kurz UV-Strahlen, ist die Sonne. Die ultraviolette Strahlung „(...) entsteht durch Energieemission eines Atoms oder Moleküls, wenn ein Elektron von einem höheren angeregten Energiezustand in ein energetisch niedrigeres Orbital übergeht.“⁴⁹

Zusätzlich ist es auch möglich, ultraviolette Strahlung künstlich mithilfe von Gasentladungsröhren zu erzeugen. In so einer Röhre treffen Elektronen auf Gasatome und durch die freiwerdende Energie wird ultraviolette Strahlung erzeugt. Bei diesem Prozess kann aber auch die unsichtbare ultraviolette Strahlung in sichtbare Strahlung, durch Beschichten der Innenseite der Gasröhre mit einem fluoreszierenden Material, umgewandelt werden. Der Vorgang nutzt den Fluoreszenz-Effekt der UV-Strahlung. Bei diesem Effekt wird die Strahlung von einem Material, anstatt chemisch zu reagieren, absorbiert und die Energie wird als sichtbares Licht wieder ausgestrahlt.⁵⁰

⁴⁸ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 12 – 16.

⁴⁹ HÖLZLE Erhard, HÖNIGSMANN Herbert: Ultraviolette Strahlung – Quellen, Spektren, Umwelteinflüsse. Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft. September 2005. Vol. 3. S. 3 – 10.

⁵⁰ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 42 – 45.

Nach heutigem Stand der Technik gibt es auch Halbleiterleuchtdioden, die speziell zur Erzeugung von UV-Strahlung entwickelt wurden. Diese Technologie funktioniert ähnlich der Leuchtdiode, die im Unterkapitel 2.3.5. schon beschrieben wurde.

Die ultraviolette Strahlung wird meist als die obere Grenze der Frequenz bzw. die untere Grenze der Wellenlänge zwischen sichtbarer und unsichtbarer Strahlung gesehen. Sobald die Strahlung eine so hohe Frequenz bzw. eine so kleine Wellenlänge besitzt, dass sie nicht mehr sichtbar ist, so ist dies eine ultraviolette Strahlung. Hingegen ist die andere Grenze der sichtbaren Strahlung die schon im Unterkapitel 2.3.4. erwähnte Infrarotstrahlung ist. Der Wellenlängenbereich der ultravioletten Strahlung liegt zwischen 200nm und 400nm und ist im Spektrum zwischen dem sichtbaren Licht und der Röntgenstrahlung verortet.⁵¹

Dabei ist immer zu beachten, dass bei elektromagnetischer Strahlung keine Grenzen existieren. Der Übergang zwischen den verschiedenen Strahlungen ist immer kontinuierlich und daher spricht man immer nur metaphorisch von einer Grenze. Genaueres dazu wird noch im Kapitel 2.5. beschrieben.

Die ultraviolette Strahlung bekam ihren Namen dadurch, da sie die nächst höhere Frequenz nach der Farbe Violett besitzt. Sie wird aufgrund von photophysikalischen bzw. photobiologischen Eigenschaften in drei Bereiche aufgeteilt. Die UVA-Strahlung ist die langwellige Strahlung dieses Bereiches und hat einen Wellenlängenbereich von $320\text{nm} - 400\text{nm}$. Die UVB-Strahlung hat einen Wellenlängenbereich von $290\text{nm} - 320\text{nm}$ und die UVC-Strahlung besitzt einen Wellenlängenbereich von $200\text{nm} - 290\text{nm}$. Die Erdatmosphäre absorbiert jedoch die UVC-Strahlung vollständig, somit gelangen nur UVA- und UVB-Strahlen auf die Erde. Die UVA- und UVB-Strahlung hat jedoch so viel Energie, dass sie es schafft, in die Haut des Menschen einzudringen. In der Haut löst sie dann eine Reihe von biologischen Reaktionen aus. Die UVA-Strahlung ist für die Hautpigmentierung verantwortlich und somit die Ursache für gebräunte Haut. Wenn die Haut des Menschen zu viel UVB-Strahlung ausgesetzt ist, so färbt sich die Haut rot und nicht braun und wird als

⁵¹ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 42.

Sonnenbrand bezeichnet. Vor diesen zwei Typen der ultravioletten Strahlung kann man sich jedoch ganz leicht mithilfe einer Sonnencreme schützen.⁵²

Die UVC-Strahlung ist die energiereichste Strahlung des ultravioletten Bereichs. Mithilfe der UVC-Strahlung ist es möglich, bei ausreichender Bestrahlung Bakterien und Viren abzutöten, und findet sie dadurch im medizinischen Bereich (Desinfektion) sowie im Versorgungsbereich (Aufbereitung von Wasser) ein wichtiges Einsatzgebiet. Die UVC-Strahlung zerstört dabei die DNA der schädlichen Organismen und hilft somit, ohne chemische Desinfektionsmittel, unerwünschte Krankheitserreger zu beseitigen.⁵³

2.3.7. Röntgenstrahlung

Die Röntgenstrahlung kann, wie fast alle anderen Arten von Strahlung, sowohl von der Natur als auch künstlich erzeugt werden. Sie besitzt einen Wellenlängenbereich von ungefähr $5pm$ bis $10nm$ und wird der Wellenlänge nach unterteilt in harte, mittlere und weiche Röntgenstrahlung und wird im Spektrum zwischen der UV-Strahlung und der Gammastrahlung verortet. Die Sonne dient dabei als natürliche Quelle, da sie fast jede Art von Strahlung emittiert. Zur künstlichen Erzeugung von Röntgenstrahlen werden sogenannte Röntgenröhren benötigt. Diese Röhren bestehen aus einer geheizten, negativ geladenen Kathode und einer positiv geladenen Anode. Wenn man nun eine elektrische Spannung an die Röntgenröhre anlegt, so schießen aus der Kathode schnelle Elektronen auf die Anode. Wie schnell die Elektronen dabei sind, hängt von der jeweiligen elektrischen Spannung ab, die an der Röhre anliegt. Beträgt die Potentialdifferenz der elektrischen Spannung mehr als $100000V$, so beschleunigen die Elektronen auf den halben Wert der Lichtgeschwindigkeit. Wird dabei ein hochenergetisches Elektron von einem Atom absorbiert, so kann ein Elektron aus der innersten Schale der Atomhülle herausgeschlagen werden.

⁵² Vgl.: MANG Renz, KRUTMANN Jean: Sonnenschutz im Urlaub. Der Hautarzt (54). 18.04.2003. S. 498 – 505.

⁵³ Vgl.: MEISSNER Willi: Desinfizieren mit Licht. Bakterien und Viren mit UV-Licht aus LEDs bekämpfen. Higgs. Online Artikel. 15.05.2018.

Dieses Elektron wird sofort von einem anderen Elektron mit höherer Energie aus einer äußeren Schale ersetzt. Dieser Übergang der Elektronen setzt Energie mit einer bestimmten Wellenlänge frei, welche als Röntgenstrahlung bezeichnet wird.⁵⁴

Dies ist die erste, typische bzw. charakteristische Art von zwei Arten, wie man Röntgenstrahlungen erzeugen kann. Bei der zweiten Art werden die erzeugten Hochgeschwindigkeitselektronen von den Elektronen aus der Atomhülle abgestoßen, sodass diese abgebremst werden. Die entstehende überschüssige Energie wird von den Elektronen als Röntgenstrahlung und als Wärme abgegeben. Diese Art der Röntgenstrahlung wird dadurch auch Bremsstrahlung genannt.⁵⁵

Das Anwendungsgebiet der Röntgenstrahlung ist breit gefächert. Zum Beispiel wird sie in der Medizin zur Diagnose von Knochenbrüchen benutzt, während sie in der Wissenschaft einen maßgeblichen Beitrag zum Verstehen des Aufbaus der Materie geleistet hat.⁵⁶

2.3.8. Gammastrahlung

Die „radioaktive Strahlung“ wurde am Anfang des 20. Jahrhunderts entdeckt und daraufhin anhand ihrer Ladung und ihrer verschiedenen Reichweiten in drei unterschiedliche Arten eingeteilt. Dabei orientierte sich der Physiker Ernest Rutherford am griechischen Alphabet und benannte sie Alpha-, Beta- und Gammastrahlung.⁵⁷ Der Wellenlängenbereich der Gammastrahlung liegt zwischen 1 fm und 5 pm und ist bei den meisten Abbildungen des Spektrums der äußerste, kleinstwellige Bereich der elektromagnetischen Strahlung.

Man spricht von radioaktiven Atomkernen, wenn diese aus einem instabilen Zustand in einen stabilen Zustand übergehen und dabei Energie in Form von Strahlung

⁵⁴ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 46 – 47.

⁵⁵ Vgl.: FRITSCHKE Olaf: Physik für Biologen und Mediziner. Springer Spektrum. 2013. S. 27.

⁵⁶ Vgl.: KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. 1966. S. 46.

⁵⁷ Vgl.: BLECK-NEUHAUS Jörn: Elementare Teilchen. Von den Atomen über das Standard-Modell bis zum Higgs-Boson. 2. Auflage. Springer Spektrum. 2013. S. 155.

emittieren. Man unterscheidet hierbei zwischen natürlicher Radioaktivität und künstlicher Radioaktivität. Natürliche Radioaktivität kommt dann vor, wenn ein Kernumwandlungsprozess ohne eine Einwirkung auf den Atomkern stattfindet. Bei der künstlichen Radioaktivität wird der Umwandlungsprozess durch eine Einwirkung von außen gestartet.⁵⁸

Es gibt drei verschiedene Arten der Strahlung bzw. der radioaktiven Umwandlung. Die Alphastrahlung entsteht über die starke Wechselwirkung beim Alphazerfall eines Heliumatoms. Bei diesem Zerfall wird die Massenzahl des Heliumatoms verringert und das dabei entstehende Alphateilchen aus dem Kern geschossen.⁵⁹ Die Betastrahlung entsteht, ausgelöst durch die schwache Wechselwirkung, wenn ein Radionuklid einen niedrigerenergetischen isobaren Nachbarn hat. Dabei wandeln sich im Kern eines Nuklides die enthaltenen Nukleonen ineinander um. Bei dieser Umwandlung werden Elementarladungen frei gesetzt, die man Betateilchen nennt. Alle bei dem Betazerfall abstrahlenden Elektronen und Positronen werden als Betastrahlung bezeichnet.⁶⁰

Jedoch werden bei radioaktiven Zerfällen nicht immer nur Teilchen ausgestrahlt. Die beim Nuklid verbleibende Energie wird bei der Gammaumwandlung in Form von hochenergetischen Photonen ausgestrahlt. Dies bezeichnet man dann als Gammastrahlung, die durch die elektromagnetische Wechselwirkung ermöglicht wird. Die Gammaumwandlung ist dabei nicht wirklich eine Umwandlung, sondern es verringert sich dabei nur die Nuklidenergie und die damit verbundene Kernmasse.⁶¹

⁵⁸ Vgl.: KRIEGER Hanno: Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes. 3. Überarbeitete und erweiterte Auflage. Vieweg + Teubner. 2009. S. 90.

⁵⁹ Vgl.: KRIEGER Hanno: Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes. 2009. S. 96.

⁶⁰ Vgl.: KRIEGER Hanno: Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes. 2009. S. 101.

⁶¹ Vgl.: KRIEGER Hanno: Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes. 2009. S. 112.

2.4. Gemeinsamkeiten und Unterschiede

Alle Strahlungsarten haben sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede. In diesem Abschnitt werden noch einmal die wichtigsten herausgearbeitet und zusammengefasst.

Grundsätzlich haben alle Strahlungsarten viele gleiche Eigenschaften. Eine dieser Eigenschaften ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit, nämlich die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum, die bei allen Strahlungen gleich ist. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit hat somit einen konstanten Wert, mit dem man auf die nächste Gemeinsamkeit der Strahlungsarten stößt. Die Lichtgeschwindigkeit ist der konstante Faktor, mit dem die Frequenz und die Wellenlänge zusammenhängen. Mithilfe der Formel

$$c = \lambda \cdot f$$

kann man erkennen, dass, je größer die Frequenz einer Strahlung ist, desto kleiner die Wellenlänge sein muss. Die Wellenlänge λ und die Frequenz f jeder Strahlungsart sind indirekt proportional zueinander. Diese Eigenschaften lassen sich dem Wellenbild der Strahlung zuordnen.

Dadurch ist es auch nicht verwunderlich, dass jede Strahlung reflektierende, absorbierende und transmittierende Eigenschaften besitzt. Das Material eines Objekts und die Energie der jeweiligen Strahlung bestimmen jedoch, wie stark eine Strahlung von dem jeweiligen Objekt reflektiert, absorbiert und bzw. oder transmittiert wird.

Eine bedeutende Eigenschaft aller Strahlungsarten ist der Energieübertrag. Jede Strahlungsart überträgt eine Energie abhängig von ihrer Frequenz. Die Energie wird mit

$$E = h \cdot \nu$$

beschrieben und besagt, dass, je höher die Frequenz ν ist, desto höher auch der Energieübertrag der Strahlung ist. Der Energieübertrag, abhängig von der Frequenz, ist eine Eigenschaft, die sich dem Teilchenbild zuordnen lässt.

Da die Strahlung nun Eigenschaften besitzt, welche dem Wellenbild oder dem Teilchenbild zuordenbar sind, könnte man denken, dass sich die verschiedenen Strahlungsarten in elektromagnetische Wellen und in Teilchenstrahlung unterscheiden lassen. Da jedoch die elektromagnetischen Wellen Teilcheneigenschaften und die Teilchen Welleneigenschaften besitzen, lässt sich die elektromagnetische Strahlung nicht in zwei Kategorien unterteilen. Man erkennt hier, dass man sowohl Welle als auch Teilchen nicht trennen kann, und muss die elektromagnetische Strahlung mit dem Modell des Welle-Teilchen-Dualismus betrachten.

Es gibt aber dennoch Unterschiede zwischen den verschiedenen Strahlungsarten. Ein wichtiger Faktor in der Kategorisierung der Strahlungsarten dürfte die Frage nach der Ionisationseigenschaft sein. Höherenergetische Strahlungen, zum Beispiel Röntgenstrahlung, können mit Materie wechselwirken. Auch wenn stehende Mikrowellen die Moleküle im menschlichen Körper in eine Drehbewegung versetzen können, so zählt die Erwärmung des Körpers nicht als Effekt einer ionisierenden Strahlung. Ionisierende Strahlung kann Elektronen aus einer Atomhülle lösen und dadurch menschliche Zellen beschädigen. Somit könnte man sagen, dass jede Strahlungsart, die noch mehr Energie besitzt als die höher energetische ultraviolette Strahlung, eine ionisierende Strahlung ist.⁶²

Jede Art von Strahlung ist dennoch für sich gesehen einzigartig und besitzt ihre eigenen Eigenschaften. Allein das Licht ist die einzige Art der Strahlung, die für uns Menschen sichtbar ist. Mithilfe der Radiowellen lassen sich Töne übertragen. Dank der Mikrowellen können Informationen übertragen werden, die das Handy nutzen kann. Sie können reflektiert werden und dadurch Bilder erzeugen, die genutzt werden können, um Objekte in der Ferne für ein Radargerät sichtbar zu machen. Mikrowellen können die Wassermoleküle in biologischen Zellen in Bewegung versetzen und diese erwärmen. Die ultraviolette Strahlung hingegen ist einerseits dafür verantwortlich, dass der Mensch ein wichtiges Vitamin produzieren kann,

⁶² Vgl.: LEANDER Lisa, SOMMER Sven: Strahlung und ihre Wirkung auf den Organismus. Welt der Physik. Online Artikel. 20.03.2011.

andererseits kann sie chemische Verbindungen verändern und dadurch Zellen und Bakterien zerstören. Die Röntgenstrahlung und die radioaktive Strahlung sind für sich auch einzigartig, da diese Bandbreite der elektromagnetischen Strahlung so viel Energie besitzt, dass sie von biologischen Zellen teilweise absorbiert wird und diese dadurch verändern bzw. zerstören kann.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die verschiedenen Arten der elektromagnetischen Strahlung überaus viele Gemeinsamkeiten besitzen, aber auch mindestens genauso viele Unterschiede vorhanden sind. Dennoch haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler versucht, eine Einteilung der verschiedenen Strahlungsarten durchzuführen.

2.5. Das elektromagnetische Spektrum

Das Konzept des elektromagnetischen Spektrums dient dazu, die elektromagnetische Strahlung bestmöglich darzustellen und zu beschreiben. Dabei wird jede Strahlung abhängig ihrer Frequenz oder ihrer Wellenlänge angeordnet. Die Wellenlänge und die Frequenz hängen über die konstante Lichtgeschwindigkeit indirekt proportional zusammen.⁶³

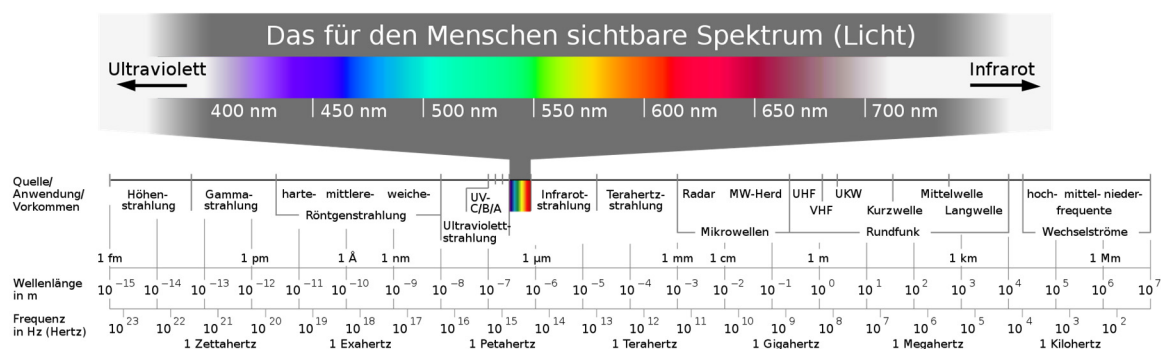


Abb. 3: Darstellung des elektromagnetischen Spektrums⁶⁴

⁶³ Vgl.: PLOTZ Thomas: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung – Empirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2. Dissertation. 2017. S. 35.

⁶⁴ HORST Frank, JAILBIRD and PHROOD: , CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3726606>

Wie man in Abbildung 3 erkennen kann, so wird jede Art von Strahlung anhand eines Parameters, in dem Fall die Wellenlänge oder die Frequenz, im Spektrum eingeordnet. Da alle Arten von Strahlung viele gleiche Eigenschaften besitzen und sehr ähnlich sind, ist dies ein gutes Konzept, um möglichst viele Informationen über die gesamte elektromagnetische Strahlung in eine Abbildung zu packen.⁶⁵

Das Spektrum kann man in drei grobe Abschnitte unterteilen. Von den Wechselströmen bis zur sichtbaren Strahlung, die sichtbare Strahlung und ab der sichtbaren Strahlung bis zu der Gammastrahlung. Dabei ist zu beachten, dass die elektromagnetischen Wellen kontinuierlich kleiner bzw. größer werden. Es gibt keine Grenzen und teilweise überlappen verschiedene Strahlungsbereiche. Da die Frequenz ab den Infrarotstrahlen schon sehr hoch ist, wird vom Infrarotbereich bis zum Gammastrahlenbereich die Strahlung meist mit der Wellenlänge beschrieben. Hingegen ist die Wellenlänge vom Infrarotbereich bis zum Wechselstrombereich so hoch, dass hier meist die Frequenz benutzt wird, um die jeweilige Strahlung zu beschreiben.⁶⁶

⁶⁵ Vgl.: PLOTZ Thomas: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung – Emprirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2. 2017. S. 35.

⁶⁶ Vgl.: NORGARD John, BEST Gregory: The Electromagnetic Spectrum. in CAVELL Garrison: National Association of Broadcasters Engineering Handbook. Focal Press. 11. Ausgabe. 2017. Kapitel 1.1. S. 3 – 10.

2.6. Zusammenfassung

Der Begriff „elektromagnetische Strahlung“ beschreibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Strahlungsarten. Jede elektromagnetische Strahlung ist eine elektromagnetische Welle, die eine gewisse Energie überträgt. Die Energie, die von dieser Welle übertragen wird, ist abhängig von der Frequenz der Welle. Jede Strahlungsart hat eine unterschiedlich hohe Frequenz und dadurch auch unterschiedlich hohe Energien. Zusätzlich zu der Frequenz wird bei einer Welle auch meist die Wellenlänge angegeben. Die Wellenlänge ist indirekt proportional zur Frequenz und dadurch auch zur Energie.

Bei kleinen Frequenzen können nur Wechselströme und Radiowellen ausgestrahlt werden. Diese Strahlungsarten besitzen auch nur eine sehr geringe Energie im Vergleich zu den hochenergetischen Strahlungsarten, wie Gammastrahlung und Röntgenstrahlung. Die Gammastrahlung und die Röntgenstrahlung besitzen sehr hohe Frequenzen und Energien. Sie gehören mit der UV-Strahlung zu der Gruppe der ionisierenden Strahlung. Jedoch besitzt nur ein kleiner Teil der UV-Strahlung, die UVC-Strahlung, genug Energie, um eine ionisierende Strahlung zu sein. Zwischen den niedrigerenergetischen Strahlungen, wie die Wechselströme und Radiowellen, und den hochenergetischen Strahlungen gibt es auch noch die UVA-Strahlung und die UVB-Strahlung, die sichtbare Strahlung, die Infrarotstrahlung und die Mikrowellenstrahlung.

Um möglichst viele Informationen über elektromagnetische Strahlung zu vermitteln, gibt es das elektromagnetische Spektrum. Dies ist ein Konzept, in dem die verschiedenen Strahlungsarten abhängig von ihrer Frequenz oder Wellenlänge auf einer Skala positioniert und mithilfe einer Abbildung dargestellt werden. Es gibt viele verschiedene Abbildungen mit unterschiedlichen Informationen. Die Frequenz- und die Wellenlängenabhängigkeit der elektromagnetischen Strahlung ist jedoch die Kerninformation des elektromagnetischen Spektrums und dadurch in jeder Abbildung vorhanden.

3. Elektromagnetische Strahlung im Unterricht

Die Physik findet man nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Lehre. Egal ob auf der Universität oder in der Schule, es ist wichtig, darüber nachzudenken, wie man physikalische Themen so erklären kann, dass es die Schülerinnen und Schüler bzw. die Studentinnen und Studenten verstehen. Dies ist einer der Ansätze der Physikdidaktik. „Physikdidaktik befasst sich mit der Theorie und der Praxis des Lernens und Lehrens von Physik“.⁶⁷ Als Lehrende bzw. Lehrender ist man sozusagen verpflichtet sich über die Physikdidaktik Gedanken zu machen, um einen sinnvollen und inhaltlich korrekten Unterricht zu halten. Man muss als Lehrperson das nötige Fachwissen besitzen und dabei aber auch eine Begeisterung für sein Fach und für das Unterrichten an sich zeigen.⁶⁸ Um Lehrpersonen bei der Unterrichtsvorbereitung zu unterstützen, entwickelte Klafki fünf didaktische Grundfragen, nach denen man eine didaktische Analyse eines Unterrichtsthemas durchführen soll. Im Folgenden werden nun diese Grundfragen von Klafki vorgestellt und anschließend eine spezielle Form der didaktischen Analyse, aufbauend auf Klafki, zum Thema „elektromagnetische Strahlung“, ausgehend von der Sekundarstufe II nach dem österreichischen Lehrplan für das Unterrichtsfach Physik, durchgeführt.

3.1. Didaktische Analyse

Als Lehrperson sind die Unterrichtsvorbereitungen einer der Hauptbestandteile des Berufes. In der Unterrichtsvorbereitung treffen die Wissenschaft und die Pädagogik aufeinander und man erstellt einen Entwurf, wie eine Unterrichtseinheit ablaufen soll. Jede Vorbereitung einer Unterrichtseinheit ist ein Zusammenspiel aus neuen Ideen und Erfahrungen aus früheren Unterrichtseinheiten. Für die Planung ist es hilfreich, wenn man jedes Themengebiet des Unterrichtes didaktisch aufarbeitet.⁶⁹ Dafür hat Klafki geschrieben, dass die „[d]idaktische Analyse als Kern der

⁶⁷ WIESNER Hartmut, SCHECKER Horst, HOPF Martin: Physikdidaktik kompakt. Aulis Verlag. 3. Auflage. 2017. S. 7.

⁶⁸ Vgl.: WIESNER Hartmut, SCHECKER Horst, HOPF Martin: Physikdidaktik kompakt. 2017. S. 7.

⁶⁹ Vgl.: KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Verlag Julius Beltz. 1971. S. 126 – 127.

Unterrichtsvorbereitung“⁷⁰ gelte. Für die didaktische Analyse entwickelte Klafki fünf Grundfragen, die man sich als Lehrperson stellen sollte, um ein Thema didaktisch und fachlich miteinander zu verbinden.⁷¹

„I. Welchen größeren bzw. welchen allgemeinen Sinn- oder Sachzusammenhang vertritt und erschließt dieser Inhalt? Welches Urphänomen oder Grundprinzip, welches Gesetz, Kriterium, Problem, welche Methode, Technik oder Haltung lässt sich in der Auseinandersetzung mit ihm „exemplarisch“ erfassen?“⁷²

Anhand dieser Frage soll man sich als Lehrperson überlegen, welchen Sinn nun dieses Thema für die Schülerinnen und Schüler haben soll. In der Physik kann man anhand von Phänomenen verschiedene Themen für die Schülerinnen und Schüler interessant gestalten. Dadurch soll der Unterricht nicht nur von einer Theorie auf einem Blatt Papier handeln, sondern diese Theorie in der tatsächlichen Welt gezeigt werden.

„II. Welche Bedeutung hat der betreffende Inhalt bzw. die an diesem Thema zu gewinnende Erfahrung, Erkenntnis, Fähigkeit oder Fertigkeit bereits im geistigen Leben der Kinder meiner Klasse, welche Bedeutung sollte er – vom pädagogischen Gesichtspunkt aus gesehen – darin haben?“⁷³

Mit dieser Frage will Klafki die Lehrperson zum Nachdenken anregen, ob denn der Inhalt des jeweiligen Unterrichtsthemas schon einmal bei den Schülerinnen und Schülern im Bildungsprozess vorgekommen ist. Da der Bildungsprozess nicht nur in der Schule stattfindet, muss sich die Lehrperson daher fragen, welche Bedeutung denn dieses Thema für die Kinder, auch außerhalb der Schule, haben könnte. Vielleicht wurde dieses geplante Thema schon von Kindern durch Fragen im Unterricht oder durch Erfahrungen aus dem Alltag aufgeworfen.⁷⁴

„III. Worin liegt die Bedeutung des Themas für die Zukunft der Kinder?“⁷⁵

⁷⁰ KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 126.

⁷¹ Vgl.: KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 135.

⁷² KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 135. (Kursivsetzung im Originaltext).

⁷³ KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 136. (Kursivsetzung im Originaltext).

⁷⁴ Vgl.: KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 136.

⁷⁵ KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 137. (Kursivsetzung im Originaltext).

Durch diese Frage soll die Lehrperson motiviert werden, über eine mögliche zukünftige Bedeutung des Themas für Schülerinnen und Schüler nachzudenken. Möglicherweise haben die Kinder in der Gegenwart noch keinen Bezug zu diesem Thema, aber zukünftig könnte es einen bedeutenden Aspekt in ihrem Leben spielen. Da man nicht weiß, welche Zukunftsvisionen die Kinder haben, sollte man überlegen, ob der Inhalt von Erwachsenen ernst genommen werden würde und ob er eine Rolle in ihrem Erwachsenenleben spielt.⁷⁶

„IV. Welches ist die Struktur des (durch die Fragen I, II und III in die spezifisch pädagogische Sicht gerückten) Inhaltes?“⁷⁷

Klafki will mit dieser Frage die Lehrperson dazu bringen, über den fachlichen Inhalt des Themas nachzudenken. Dabei muss die Lehrperson die fachliche Ebene des Themas auf dem jeweiligen Verständnisniveau der Schülerinnen und Schüler anpassen.⁷⁸

„V. Welches sind die besonderen Fälle, Phänomene, Situationen, Versuche, Personen, Ereignisse, Formelemente, in oder an denen die Struktur des jeweiligen Inhaltes den Kindern dieser Bildungsstufe, dieser Klasse interessant, fragwürdig, zugänglich, begreiflich, „anschaulich“ werden kann?“⁷⁹

Bei der letzten der fünf didaktischen Grundfragen muss sich die Lehrperson überlegen, wie man ein Thema in den Ereignishorizont der Schülerinnen und Schüler bringt. Die Lehrperson sollte auf Modelle und Versuche zurückgreifen, sodass es den Kindern möglich ist, selbstständig auf das Wesentliche des Themas zu stoßen. Die dabei auftretenden Fragestellungen sollen möglichst selbstständig beantwortbar sein. Erst nach der Erstellung einer didaktischen Analyse eines Unterrichtsthemas sollte sich die Lehrperson mit den möglichen methodischen Unterrichtsabläufen befassen. Dabei ist der Übergang vom fachlichen Wissen der Lehrperson zur didaktischen Überlegung und zur methodischen Unterrichtsplanung teilweise schon in der didaktischen Analyse, durch die Überlegungen der fünf didaktischen

⁷⁶ Vgl.: KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 137.

⁷⁷ KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 137. (Kursivsetzung im Originaltext).

⁷⁸ Vgl.: KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 137 – 139.

⁷⁹ KLAFFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 140. (Kursivsetzung im Originaltext).

Grundfragen, enthalten. Zusätzlich erwähnt Klafki auch, dass die Fragen der didaktischen Analyse immer nur in Bezug auf eine ganz konkrete Schulklasse beantwortet werden können, da man nur dann den Wissensstand der Schülerinnen und Schüler kennt und dadurch nicht zu weit von der tatsächlichen Situation entfernt ist.⁸⁰

Die didaktische Analyse in dieser Arbeit ist eine abgewandelte Form der didaktischen Analyse von Klafki. Sie basiert auf dem Konzept der didaktischen Rekonstruktion von Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek aus dem Jahr 1998.⁸¹ Diese Form der didaktischen Analyse wird im Lehramtsstudium Physik auf der Universität Wien verwendet und daher auch hier angewendet. In dieser Arbeit wird auf die elementaren Grundideen, auf die Einordnung im Lehrplan, die Bedeutung für die Schülerinnen und Schüler und auf die Schülervorstellungen eingegangen. Dabei soll das Thema der elektromagnetischen Strahlung mit der didaktischen Analyse aus dem Lehramtsstudium grob aufgearbeitet werden, da für diese Arbeit nur die verschiedenen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums bedeutend sind. Daher ist die didaktische Analyse in dieser Arbeit für die Beantwortung der Forschungsfrage nicht zwingendermaßen notwendig, jedoch stellt sie eine gute grundlegende didaktische Basis dar, wie elektromagnetische Strahlung in der Schule gelehrt wird. Dabei ist zu beachten, dass das Thema „elektromagnetische Strahlung“ ein zu großes Überthema der im Lehrplan befindlichen Themen ist. Wie schon in Kapitel 2 beschrieben, gibt es viele verschiedene Arten der elektromagnetischen Strahlung, die in der Schule zu unterschiedlichen Zeiten gelehrt werden. Die angewandte didaktische Analyse wird daher nur einen Ausschnitt aus den verschiedenen Inhalten des Lehrplans behandeln und dabei vermehrt auf die Sekundarstufe II eingehen, da das Thema des elektromagnetischen Spektrums erst spät in der Schullaufbahn der Schülerinnen und Schüler vorkommt.

⁸⁰ Vgl.: KLAFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. 1971. S. 140 – 142.

⁸¹ Vgl.: DUIT Reinders: Didaktische Rekonstruktion. PIKO-Brief Nr. 3. Februar 2010. S. 2.

3.1.1. Elementare Grundideen

Die elementaren Grundideen sollen versuchen, den fachlichen Inhalt auf kurze und prägnante Weise wiederzugeben. Dabei wird die erste der fünf Grundfragen von Klafki aufgegriffen und versucht durch Auseinandersetzung mit dem fachlichen Inhalt eine fachliche Klärung durchzuführen. Bei der Auseinandersetzung sollen die zentralen Grundideen des fachlichen Inhaltes herausgearbeitet werden. Diese zentralen Grundideen werden in der didaktischen Analyse von Kattmann, Duit, Gropengießer und Komorek meist als „elementare Grundideen“ oder auch als „Key-Ideas“ angeführt. Um diese zu definieren, müssen die Ziele des Unterrichts und die Kenntnisse der Schülerinnen und Schüler berücksichtigt werden.⁸²

Die fachliche Erklärung der elektromagnetischen Strahlung wurde für diese Arbeit schon in Kapitel 2 „Elektromagnetische Strahlung“ durchgeführt. Anhand dieser Ausarbeitung des fachlichen Inhaltes werden die elementaren Grundideen der elektromagnetischen Wellen und des elektromagnetischen Spektrums erarbeitet, da nur diese für das Thema dieser Arbeit relevant sind.

- Eine Welle ist eine räumliche und zeitliche Störung, die sich periodisch ausbreitet.
- Das elektrische Feld und das magnetische Feld sind bei einer elektromagnetischen Welle zu jeder Zeit und an jedem Ort miteinander verknüpft.
- Der Energieübertrag bei elektromagnetischen Wellen wird als elektromagnetische Strahlung bezeichnet.
- Die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum ist bei allen elektromagnetischen Wellen gleich der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.
- Das elektromagnetische Spektrum ist ein Konzept, um die elektromagnetische Strahlung darzustellen.
- Alle Strahlungsarten werden im elektromagnetischen Spektrum anhand eines Parameters angeordnet.

⁸² Vgl.: DUIT Reinders: Didaktische Rekonstruktion. PIKO – Brief Nr. 3. Februar 2010. S. 3.

- Im elektromagnetischen Spektrum gibt es keine Grenzen zwischen den Strahlungsarten. Die Strahlungsarten gehen kontinuierlich ineinander über und können sich teilweise überlappen.

3.1.2. Einordnung im Lehrplan

In der Sekundarstufe I findet man im Lehrplan der Allgemeinbildenden Höheren Schulen für Physik einen ersten Bezug zur elektromagnetischen Strahlung.

„Die Welt des Sichtbaren:

Ausgehend von Alltagserfahrungen sollen die Schülerinnen und Schüler grundlegendes Verständnis über Entstehung und Ausbreitungsverhalten des Lichtes erwerben und anwenden können.“⁸³

„Das radioaktive Verhalten der Materie:

Ausgehend von Alltagsvorstellungen der Schülerinnen und Schüler soll ein grundlegendes Verständnis wichtiger Vorgänge in Atomkernen erzielt werden.“⁸⁴

In der vierten Klasse der AHS bekommen die Schülerinnen und Schüler erstmals einen Einblick in das Gebiet der Optik. Dadurch lernen sie einen ersten Bereich des elektromagnetischen Spektrums, die sichtbare Strahlung, kennen. Zusätzlich bekommen die Schülerinnen und Schüler Einblicke in das radioaktive Verhalten von Materie, welches jedoch nur als Radioaktivität bezeichnet wird. Da die Radioaktivität nur als ständig auftretender Zerfallvorgang im Lehrplan beschrieben wird, wird der Zusammenhang zwischen Licht und Radioaktivität durch die elektromagnetische Strahlung nicht thematisiert. Erst in der siebenten Klasse der AHS werden wegen des semestrierten Lehrplans im 5. Semester der Sekundarstufe II die elektromagnetischen Wellen erwähnt.

⁸³ RIS - Rechtsinformationssystem des Bundes: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne - allgemeinbildende höhere Schulen. Fassung von 17.12.2019. (Fettdruck im Originaltext).

⁸⁴ RIS - Rechtsinformationssystem des Bundes: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne - allgemeinbildende höhere Schulen. Fassung von 17.12.2019. (Fettdruck im Originaltext).

„7. Klasse

5. Semester - Kompetenzmodul 5

Elektrodynamik: Motorprinzip und Induktion

Energie: Grundlagen der konventionellen und alternativen Energiebereitstellung; Energieübertragung; Sicherheit im Umgang mit elektrischer Energie

Elektromagnetische Wellen: Erzeugung und Eigenschaften am Beispiel des Lichts und anderer Arten elektromagnetischer Strahlung, Wellenoptik, sichtbarer und nicht sichtbarer Teil des elektromagnetischen Spektrums

Strahlungshaushalt der Erde⁸⁵

Die elektromagnetischen Wellen sind dabei eines der vier großen Kapitel im Kompetenzmodul 5. Dabei soll man als Lehrperson auf den sichtbaren und nicht sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums eingehen, wobei eine Abbildung des elektromagnetischen Spektrums für Lehrpersonen und Schülerinnen und Schüler für diesen Punkt im Unterricht durchaus hilfreich sein kann. Welche Abbildungen dabei gut geeignet sind bzw. welche Kriterien die verschiedenen Abbildungen des elektromagnetischen Spektrums erfüllen müssen, damit Schülerinnen und Schüler erfolgreich damit arbeiten können, soll im weiteren Verlauf dieser Arbeit herausgearbeitet, erforscht und beantwortet werden.

3.1.3. Bedeutung für die Lernenden

Da die Erde von elektromagnetischer Strahlung umgeben ist, ist diese für Schülerinnen und Schüler allgegenwärtig. Elektromagnetische Wellen sind aus dem Alltag der vielen Jugendlichen und auch Erwachsenen nicht mehr wegzudenken. Sei es in der Küche bei der Benutzung des Mikrowellenherdes oder auch einfach nur beim Telefonieren mit dem Smartphone. Inzwischen basiert schon die gesamte moderne Kommunikation auf dem Transport von Informationen über elektromagnetische Mikrowellenstrahlung.⁸⁶ Speziell das Thema der Mobiltelefone eignet sich für den Unterricht, da Mobiltelefone schon ständige Begleiter im Alltag sind.

⁸⁵ RIS - Rechtsinformationssystem des Bundes: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne - allgemeinbildende höhere Schulen. Fassung von 17.12.2019. (Fettdruck im Originaltext).

⁸⁶ Vgl.: PLOTZ Thomas: Handystrahlung. Wie gefährlich ist sie jetzt wirklich? - Evidenzen und Interpretationen. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule. 65 (2). 2016. S. 37 – 39.

Der Einsatz von Infrarotstrahlung und Röntgenstrahlung in der Medizin könnte für Schülerinnen und Schüler ebenso interessant und von Bedeutung sein. Infrarotlampen werden in Apotheken und anderen Geschäften verkauft, um Krankheiten wie Grippe oder Verschnupfungen vorzubeugen und um dem Körper bei Muskel- oder Sehnenbeschwerden Wärme zur Schmerzlinderung zuzuführen. Röntgenstrahlen kennen viele der Schülerinnen und Schüler von Besuchen bei Zahnärztinnen oder Zahnärzten oder von Untersuchungen im Krankenhaus.

Nicht nur aus dem Alltag werden viele Schülerinnen und Schüler die verschiedenen Strahlungsarten kennen. Viele der verschiedenen Strahlungen werden immer wieder im Fernsehen bei Filmen, Dokumentationen oder Serien erwähnt.

3.2. Schülervorstellungen

Wenn man als Lehrperson seine Unterrichtssequenzen plant, so sollte man nicht nur auf die fachliche Klärung des Inhaltes achten, sondern auch darauf, mit welchen Vorstellungen die Schülerinnen und Schüler aus dem Alltag in den Unterricht kommen. Speziell in der Physik erhalten Schülerinnen und Schüler immer wieder Vorstellungen durch fehlendes oder falsches physikalisches Grundverständnis von ihnen nahestehenden Personen. Anhand des Beispiels der physikalischen Zentrifugalkraft lässt sich dies einfach veranschaulichen. Die Schülerinnen und Schüler sehen bei Waschmaschinen, Fahrgeschäften im Wiener Prater, Videos aus Youtube und etlichen anderen Quellen, dass wenn ein Körper sich mit einer gewissen Geschwindigkeit um einen anderen Körper dreht und bei diesem befestigt ist, eine Kraft den drehenden Körper nach außen zieht. Diese Kraft ist jedoch nur eine Scheinkraft und existiert genau genommen nicht. Für diesen Vorgang, den man umgangssprachlich mit der Zentrifugalkraft beschreibt, ist die Zentripetalkraft verantwortlich. Diese Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler werden

Schülervorstellungen genannt und treten durch den alltäglichen umgangssprachlichen Gebrauch häufig im Unterricht auf.⁸⁷

Die Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler mit in den Unterricht bringen, können von vorher erfahrenem Unterricht stammen, werden aber meist durch außerschulische Erfahrungen geprägt. Schecker et al. nennen dabei die Alltagssprache als wichtigsten außerunterrichtlichen Faktor für die Schülervorstellungen. Zusätzlich zur Alltagssprache kommen noch falsche Wahrnehmungsmuster und Erfahrungen aus dem Alltag hinzu, die die Vorstellungen von Schülerinnen und Schüler beeinflussen können.⁸⁸

3.2.1. Schülervorstellungen beeinflussen den Unterricht

Die häufigen Fehler von Schülerinnen und Schüler bei der Beschreibung von physikalischen Konzepten sind jedoch nicht nur falsche Vorstellungen, die auch Fehlvorstellungen genannt werden, sondern auch sogenannte Alltagsvorstellungen, Präkonzepte, mentale Modelle oder Vorverständnisse. Schecker et al. gehen dabei von einigen Grundannahmen über Schülervorstellungen aus, die den physikalischen Unterricht beeinflussen.⁸⁹

- „Schülerinnen und Schüler kommen nicht als leere, unbeschriebene Blätter in den Physikunterricht, auf die man als Lehrkraft physikalisches Wissen „schreibt“.
- Die Lernenden bringen vielmehr ein reiches Inventar an Vorstellungen zu physikalischen Begriffen und Phänomenen mit, die sich im umgangssprachlichen Gebrauch bewährt haben.
- Die Schülervorstellungen liegen häufig quer zum entsprechenden physikalischen Verständnis.

⁸⁷ Vgl.: SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders, FISCHLER Helmut, HAAGEN - SCHÜTZENHÖFER Claudia, HÖTTECKE Dietmar, MÜLLER Rainer, WODZINSKI Rita: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Spektrum. 1. Auflage. 2018. S. 2 bzw. S. 14.

⁸⁸ Vgl.: SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 12 – 14.

⁸⁹ Vgl.: SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 12.

- Man kann im jeweiligen Themenbereich einen großen Teil der Schülerhandlungen und -aussagen auf das Wirken einer begrenzten Menge typischer Vorstellungen zurückführen.
- Die Verarbeitung neuer Lernangebote im Unterricht wird wesentlich von den bei Schülerinnen und Schüler bereits vorhandenen Vorstellungen beeinflusst.
- Schülervorstellungen erscheinen aus fachlicher Perspektive häufig in sich widersprüchlich und können dennoch eine innere Logik aufweisen.
- Schülervorstellungen sind recht stabil gegen Versuche, sie durch Unterricht zu verändern, und müssen daher bei der Unterrichtsplanung nachdrücklich berücksichtigt werden.“⁹⁰

Dabei muss man als Lehrperson darauf achten, dass viele der Schülervorstellungen recht nützlich im Alltagsgebrauch sind. Nicht alle Schülervorstellungen, die anders als die physikalischen Konzepte sind, sind falsch.⁹¹ Schülervorstellungen können sogar dazu beitragen, dass sich Lehrpersonen intensiver mit fachlichen Klärungen auseinandersetzen und dadurch nicht nur die Schülerinnen und Schüler, sondern auch die Lehrpersonen von den Schülervorstellungen im weiteren Sinne profitieren. Schülervorstellungen sind für das Lernen physikalischer Begriffe sehr wichtig. Sie können den Schülerinnen und Schülern helfen, können jedoch gleichzeitig auch sehr hinderlich beim Erlernen von fachlich anschlussfähigen physikalischen Konzepten sein.⁹²

⁹⁰ SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 12.

⁹¹ Vgl.: SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 12.

⁹² Vgl.: SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 4 – 6.

Wie man als Lehrperson mit den Schülervorstellungen in der Unterrichtsplanung umgeht, beschreiben Schecker et al. mit zwei unterschiedlichen Grundkonzeptionen:

- „a. Konzeptionen, die von einem kontinuierlichen Lernweg ausgehen, bei dem man an ausbaufähigen Schülervorstellungen anknüpft oder vorhandene Vorstellungen umdeutet, und
- b. diskontinuierliche Konzeptionen, bei denen Schülervorstellungen direkt im Unterricht aufgegriffen werden, um sie mit den physikalisch korrekten Vorstellungen zu konfrontieren.“⁹³

Die Entscheidung, mit welcher Konzeption man den Unterricht gestaltet bzw. die Vorbereitung der Unterrichtseinheit durchführt, muss vor der Planung getroffen werden. Im Unterricht selber kommen jedoch auch Schülervorstellungen vor, die man vielleicht nicht in der Vorbereitung beachtet hat. Dann muss man sich als Lehrperson entscheiden, ob diese aufgegriffen oder ignoriert werden sollen. Jedoch schreiben Schecker et al., dass die Schülervorstellungen nicht einfach übergangen werden oder als falsch abgewertet werden sollen. Die Schülervorstellungen sind oft eigene Vorstellungen, die von Schülerinnen und Schülern über physikalische Konzepte gemacht werden, und daher sollte man diese aufgreifen und wertschätzen. Sonst würde vielleicht die Gefahr bestehen, dass sich Schülerinnen und Schüler nicht mehr trauen ihre Gedanken und Vorstellungen den Lehrpersonen mitzuteilen. Diese Gedanken und Vorstellungen der Kinder und Jugendlichen sind jedoch ein wichtiger Bestandteil eines wertvollen Unterrichts und führen im Alltag oft zu korrekten Erklärungen, auch wenn die eigenen physikalischen Vorstellungen keine allgemeingültigen Vorstellungen sind.⁹⁴

⁹³ SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 6.

⁹⁴ Vgl.: SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 6.

3.2.2. Schülervorstellungen im Alltag

Schülervorstellungen existieren jedoch nicht nur bei Schülerinnen und Schülern und nicht nur in der Schule. Wenn Lehrpersonen es nicht schaffen, den Lernenden die verwendeten physikalischen Konzepte richtig zu stellen, dann nehmen die Lernenden diese Vorstellungen mit in ihren Alltag und in ihr Erwachsenenleben. Dies ergab eine Befragung von Lehramtsstudenten und anderen jungen Erwachsenen, die angaben, dass sie trotz langjährigem Physikunterricht nur über ein geringes physikalisches Wissen über Phänomene und Geräte im Alltag verfügen. Kircher et al. geben dabei explizit die Mondphasen und den Fahrraddynamo als Beispiele an, an denen das Grundwissen scheiterte. Die Befragung, die von Wagenschein bzw. von Daumenlang im Jahr 1969 durchgeführt wurde, brachte zusätzlich zu dieser Erkenntnis als Ergebnis heraus, dass Erwachsene und vor allem junge Erwachsene die Ursache dieser Alltagsvorstellungen vor allem in der Umgangssprache sehen. Als typisches Beispiel geben hier Kircher et al. das Wort „Stromverbrauch“ an.⁹⁵ Stromverbrauch ist ein Wort, das im Alltag sehr oft und leider falsch benutzt wird. Wenn man dieses Wort in eine Internetsuchmaschine eingibt, dann erscheinen zahlreiche Firmen und Websites, die eine Berechnung des Stromverbrauchs oder den Wechsel eines Energielieferanten, um beim Stromverbrauch zu sparen, anbieten. Zusätzlich kann man sich im Internet informieren, wie man den täglichen Stromverbrauch im Haushalt ablesen kann. Diese oftmals falschen Darstellungen können wie bei dem Wort „Stromverbrauch“ zwar das alltägliche Leben erleichtern, jedoch verstärken sie eine der vielen Schülervorstellungen (vor allem auch von Erwachsenen) zum Thema Elektrizität, nämlich, dass Strom verbraucht wird. Dies ist physikalisch nicht korrekt, da der Strom nicht verbraucht wird. Der Strom bzw. die elektrische Energie wird ausschließlich in andere Energieformen umgewandelt. Zum Beispiel wird bei einer Glühlampe die elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt.

⁹⁵ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 3. Auflage. Springer Spektrum. 2013. S. 58.

3.2.3. Conceptual Change

Auch ohne Physikunterricht entwickeln Menschen und vor allem Kinder viele Konzepte, die ihnen im Umgang mit physikalischen Phänomenen im Alltag eine Erklärung liefern. Diese Schülervorstellungen sind meist recht zuverlässig, doch stoßen sie im Physikunterricht an ihre Grenzen und erweisen sich als lückenhaft oder falsch. Eines der Ziele des Physikunterrichts soll jedoch die Weiterentwicklung des Wissens der Lernenden sein. Die Schülerinnen und Schüler sollen sich im Physikunterricht ein Wissenskonzept aneignen, welches möglichst zur fachlichen Theorie passt, die Physikerinnen und Physiker verwenden. Ein lückenhaftes oder falsches Konzept ist jedoch meist nicht weiterentwickelbar und stellt für Schülerinnen und Schüler im Lernprozess oft Probleme dar. Jean Piaget postulierte für die Entwicklung der Wissensstruktur eines Menschen zwei Mechanismen, nämlich die Assimilation und die Akkommodation. Die Assimilation steht für die Integration eines neuen Wissens in eine bestehende Wissensstruktur, während die Akkommodation dafür steht, dass bestehende Strukturen anders angeordnet werden müssen. Da Schülerinnen und Schüler oftmals schon mit bestehenden Strukturen bzw. mit bestehenden Konzepten in den Unterricht kommen, haben Posner et al. Bedingungen formuliert, wiedergegeben von Schecker et al., die gelten müssen, um einen Konzeptwechsel für Schülerinnen und Schüler zu ermöglichen.⁹⁶

- „Die Schülerinnen und Schüler müssen mit ihrem vorhandenen Konzept unzufrieden sein.
- Das vorgestellte neue Konzept muss wenigstens bis zu einem gewissen Grad verstanden sein.
- Das neue Konzept muss intuitiv einleuchtend erscheinen.
- Das neue Konzept muss auf neue Situationen und Phänomene übertragbar und dort hilfreich sein.“⁹⁷

Um Schülerinnen und Schülern zu einem Konzeptwechsel zu verhelfen, müssen diese laut Posner et al. unzufrieden mit ihrem vorhandenen Konzept sein. Daher müssen Lehrpersonen Situationen schaffen, in denen die vorhandenen Konzepte nicht mehr

⁹⁶ Vgl.: SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 26 – 28.

⁹⁷ SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 28.

gelten oder nicht ausreichend sind. Dennoch beschreiben Schecker et al., dass es nicht immer möglich ist, eine fehlerhafte Vorstellung in ein vollständig richtiges Wissen umzuwandeln. Als Beispiel führen sie dabei an, dass auch fertig ausgebildete Physikerinnen und Physiker im Alltag über Stromverbrauch reden, obwohl sie wissen, dass dies nicht so ist. Zusätzlich benötigen die Vorgänge eines Konzeptwechsels viel Zeit und dieser kann nicht innerhalb kürzester Zeit passieren.⁹⁸

Schecker et al. beschreiben aber, dass es beim Konzeptwechsel nicht darum geht, physikalisch falsche Konzepte durch physikalisch richtige Konzepte zu ersetzen. Dabei sehen sie diesen Punkt als aussichtslos an, da die Fülle an Themen im Lehrplan vom Unterrichtsfach Physik einfach zu groß sei, um einen Konzeptwechsel bei allen Themen zu ermöglichen. Für Schecker et al. geht es beim Konzeptwechsel vor allem darum, dass den Schülerinnen und Schülern eine physikalische Sichtweise vermittelt wird und den Lernenden deutlich gemacht wird, dass diese Sichtweise in vielen Punkten unterschiedlich zur Alltagssichtweise sei. Dabei bezeichnen Schecker et al. jeden nur erdenklichen Lernweg von falschen Schülervorstellungen weg zu richtigen physikalischen Konzepten bzw. zu richtigen wissenschaftlichen Vorstellungen als Konzeptwechsel. Durch fachdidaktische Forschungen konnte festgestellt werden, dass Schülervorstellungen als Basis für das Physiklernen aufgefasst werden können. Dies stellt zwar die Lehrperson vor eine große didaktische Herausforderung, jedoch beinhalten sie auch Chancen zum Erlernen von fachlichen Inhalten. Daher muss die Lehrperson abwägen, ob denn ein abrupter Wechsel von Schülervorstellungen zum fachlich korrekten Inhalt sinnvoll ist oder ob man diese Vorstellungen aufgreifen und mit diesen arbeiten sollte. Dennoch erwähnen Schecker et al. auch, dass viele der Ansätze für einen Konzeptwechsel in einem Themengebiet noch zu wenig erforscht sind und eventuell für Lehrkräfte keinen wesentlichen Punkt in der Unterrichtsvorbereitung darstellt.⁹⁹

⁹⁸ Vgl.: SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 28 – 29.

⁹⁹ Vgl.: SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders et al.: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. 2018. S. 35 – 36.

3.2.4. Schülervorstellungen zur elektromagnetischen Strahlung

Elektromagnetische Strahlung ist im 21. Jahrhundert für Schülerinnen und Schüler ein Thema geworden, welches aus dem Alltag nicht mehr auszublenzen ist. Egal ob durch Mikrowellen der zahlreichen Smartphones, Mikrowellen eines WLAN-Routers in den Wohnungen und Häusern der Lernenden oder durch Röntgenstrahlen bei Arztbesuchen, die Lernenden sind immer und zu jeder Zeit, natürlich auch durch die Strahlung der Sonne, von elektromagnetischer Strahlung umgeben. Dadurch ist es unvermeidbar geworden, dass sich Schülerinnen und Schüler alltagstaugliche Konzepte und Vorstellungen zur elektromagnetischen Strahlung machen. Jedoch sind Schülervorstellungen zum Thema Strahlung noch wenig erforscht und lückenhaft. Ein paar Forschungen wurden schon zu diesem Thema durchgeführt und im Folgenden werden nun Ergebnisse aus zwei Studien von Susanne Neumann und Martin Hopf präsentiert, die in den Jahren 2011 und 2012 durchgeführt wurden.¹⁰⁰

Neumann und Hopf versuchten durch eine explorative Studie (2011) herauszufinden, was Schülerinnen und Schüler der Schulstufen 4 – 6 mit dem Thema Strahlung bzw. mit dem Begriff Strahlung verbinden. Dafür begutachteten sie Zeichnungen von Lernenden, die im Unterricht noch nicht mit diesem Thema in Berührung kamen, um so erste Schülervorstellungen zu erfahren. Zusätzlich wurden mit den Schülerinnen und Schülern Interviews durchgeführt, da einige Lernende Motive mit sichtbarer Strahlung und Motive mit unsichtbarer Strahlung gezeichnet haben. Bei der sichtbaren Strahlung ist klar erkennbar, dass der größere Anteil an Schülerinnen und Schülern das Motiv der Sonne gemalt hat und ein Viertel der Lernenden eine künstliche Lichtquelle gemalt hat. Zusätzlich verbanden die Schülerinnen und Schüler das Handy und Radioaktivität mit dem Begriff Strahlung, aber auch Fernsehbildschirme und Computerbildschirme waren Motive auf den Zeichnungen der Kinder.¹⁰¹

¹⁰⁰ Vgl.: PLOTZ Thomas: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung – Empirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2. 2017. S. 45.

¹⁰¹ Vgl.: NEUMANN Susanne, HOPF Martin: Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff Strahlung? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (17). 2011. S. 157 – 176.

Eine weitere Studie von Neumann und Hopf erforschte konkrete Schülervorstellungen von Schülerinnen und Schülern. Dabei führten sie eine Interviewstudie mit ungefähr 50 Schülerinnen und Schülern aus der Sekundarstufe II durch. Als Ergebnis dieser Studie definierten Neumann und Hopf sechs Schülervorstellungen, die Schülerinnen und Schüler zum Thema Strahlung haben.¹⁰²

- „Strahlung ist nicht natürlich.
- Licht ist anders als Strahlung.
- Alle elektrischen Geräte emittieren schädliche Strahlung.
- Strahlung ist für viele Umweltprobleme verantwortlich.
- Strahlung und radioaktive Partikel sind gleich.
- Strahlung wird von Lebewesen emittiert und diese hilft uns Gefühle zu erkennen.“¹⁰³

3.3. Zusammenfassung

Elektromagnetische Strahlung ist ein großes Kapitel im Physikunterricht. Auch wenn im Lehrplan erst in der Sekundarstufe II die elektromagnetische Strahlung explizit erwähnt wird, so finden sich schon in der Sekundarstufe I erste thematische Inhalte davon. Mit der Optik als Themengebiet der sichtbaren Strahlung und mit der Radioaktivität erfahren die Schülerinnen und Schüler erste Inhalte zum Thema elektromagnetische Strahlung. Die elektromagnetische Strahlung ist für Schülerinnen und Schüler ein Thema, welches sie im Alltag dauerhaft begleitet. Die damit verbundenen Vorerfahrungen aus dem Alltag, auch Schülervorstellungen genannt, müssen von der Lehrperson berücksichtigt werden, da diese für den Unterricht hinderlich sein können. Nicht immer sind Schülervorstellungen falsch. Sie sind oft hilfreich im Unterricht, können aber die Schülerinnen und Schüler daran hindern, ein physikalisch korrektes Konzept zu entwickeln. Für die Lehrperson ist es daher hilfreich, diese Schülervorstellungen in der Unterrichtsplanung zu berücksichtigen.

¹⁰² Vgl.: NEUMANN Susanne, HOPF Martin: Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. Journal of Science Education and Technology (21). 2012. S. 826 – 834.

¹⁰³ Vgl.: NEUMANN Susanne, HOPF Martin: Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. Journal of Science Education and Technology (21). 2012. S. 826 – 834. (Vom Verfasser dieser Arbeit ins Deutsche übersetzt).

Um eine erfolgreiche Unterrichtsplanung zu gestalten, sollte eine Lehrperson von einem Thema eine didaktische Analyse durchführen. Bei der didaktischen Analyse soll sich die Lehrperson mit fünf grundlegenden didaktischen Fragen beschäftigen, die von Klafki erstellt wurden. Bei der Unterrichtsplanung sollte sich die Lehrperson auch überlegen, ob genügend Zeit vorhanden ist, für einige Schülervorstellungen einen Konzeptwechsel durchzuführen. Falls dies zutrifft, dann muss die Lehrperson eine Unterrichtssituation schaffen, in der die Schülerinnen und Schüler mit ihrem bisherigen alltagstauglichen Konzept unzufrieden sind. Erst dann ist es möglich, bei den betroffenen Schülerinnen und Schülern einen Konzeptwechsel durchzuführen. Damit dies gelingt, muss aber auch das neue, von der Lehrperson vorgestellte, physikalische Konzept einfach zu verstehen und intuitiv begreifbar für die Schülerinnen und Schüler sein. Zusätzlich muss das neue Konzept auf neue Situationen und auf Phänomene übertragbar und hilfreich sein. Doch beim Konzeptwechsel geht es nicht immer darum, dass den Schülerinnen und Schülern ein fachlich richtiges Konzept aufgedrängt wird. Es geht vor allem darum, dass man ihnen begreiflich macht, dass ein physikalisch richtiges Konzept nicht immer gleich einem alltagstauglichen Konzept ist. Die Lernenden sollen ein physikalisches Konzept entwickeln, welches dem von Physikerinnen und Physikern recht ähnlich ist, dennoch aber einfach und für sie selber verständlich sein soll. Als Basis eines Konzeptwechsels sollte dabei immer eine Schülervorstellung dienen. Manchmal ist es notwendig, einen abrupten Konzeptwechsel durchzuführen, manchmal jedoch ist es besser, die Schülervorstellungen aufzugreifen und einen langsamen Fortschritt zum richtigen physikalischen Konzept durchzuführen. Dies sollte man als Lehrperson schon während der Unterrichtsplanung berücksichtigen und eventuell in die Planung einarbeiten.

4. Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums

Das elektromagnetische Spektrum ist, wie in Unterkapitel 2.5. „Das elektromagnetische Spektrum“ schon beschrieben, ein Konzept, um die elektromagnetische Strahlung bestmöglich darzustellen und zu beschreiben. Die Strahlung wird im elektromagnetischen Spektrum einem Parameter nach angeordnet und somit in verschiedene Bereiche bzw. Arten unterteilt. Dieser Parameter ist meist die Wellenlänge oder die Frequenz der jeweiligen Strahlung. Da diese beiden Parameter zusammenhängen, ist es somit für das Konzept des Spektrums nicht ausschlaggebend, nach welchem Parameter die verschiedenen Strahlungen angeordnet werden. Zusätzlich kann man auch die Strahlungen nach ihrer Energie einteilen, da diese auch direkt proportional mit der Frequenz zusammenhängt.

Das Spektrum als Konzept ist eine Darstellung, in der möglichst viele Informationen verpackt sind. Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen Darstellungen, die alle ein bisschen unterschiedlich sind. Jedoch ist die Basis der Darstellungen, also die Einteilung nach der Wellenlänge, Frequenz oder Parameter, immer gleich. Wenn man nach dem elektromagnetischen Spektrum im Internet sucht, so findet man allein bei der Website der NASA drei unterschiedliche Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums. Wenn innerhalb einer Website drei verschiedene Darstellungen existieren, so kann man sich vorstellen, dass die Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums in den österreichischen Schulbüchern durchaus auch verschieden sind.

Welche verschiedenen Darstellungen in den Schulbüchern existieren und welche Bedingungen diese Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums haben müssen, um für Schülerinnen und Schüler verständlich zu sein, soll in diesem Kapitel erarbeitet werden. Dafür werden alle existierenden Darstellungen in den österreichischen Schulbüchern für Physik der 7ten Klasse vorgestellt, Bedingungen für Darstellungen erarbeitet und anschließend die Darstellungen anhand dieser Bedingungen miteinander verglichen.

4.1. Darstellungen im Physikunterricht

Wenn man Bilder aus vergangenen Tagen ansieht, so schafft es unser Gedächtnis, diese Bilder wiederzuerkennen, und hilft uns, uns an diese abgebildeten Ereignisse zu erinnern. Doch nicht nur im Alltag helfen Bilder dabei, uns an gewisse Ereignisse zu erinnern. Bilder können im Unterricht den Schülerinnen und Schülern helfen, gewisse Ereignisse und Informationen zu erlernen und diese wiederzugeben. Kircher et al. beschreiben dabei die Bilder als „zentrale Darstellungsform für Unterrichtsmedien“¹⁰⁴. Als Bedingung, dass Schülerinnen und Schüler Bilder als Lernhilfe nutzen können, nennen Kircher et al. die Fähigkeit, Bildinhalte zu entschlüsseln und diese Informationen weiterverarbeiten zu können. Doch Bilder im Unterricht sind nicht gleich Bilder. Kircher et al. beziehen sich auf die Unterscheidung von Ludwig Issing aus dem Jahr 1983, der folgende drei Kategorien von Bildern unterscheidet: „*Abbildungen*, *analoge Bilder* und *logische Bilder*“¹⁰⁵. Diese drei Unterscheidungen sollen dabei den Lehrpersonen helfen, die richtigen Bilder im Unterricht als Lehrmittel einzusetzen.¹⁰⁶

Die erste Kategorie von Bildern, die Abbildungen, soll wesentliche Merkmale von Objekten oder Szenen übermitteln. Abbildungen können Fotografien, Zeichnungen und etliche andere Darstellungen sein. Eine Abbildung hat keine räumliche oder zeitliche Distanz, daher kann sie Sachverhalte aus weit entfernten Gebieten zeigen. Doch nicht nur Sachverhalte können gezeigt werden, auch sehr kleine Objekte oder Vorgänge bzw. Ereignisse, die nur sehr selten vorkommen oder gefährlich sind, können mithilfe von Abbildungen den Schülerinnen und Schülern näher gebracht werden. Die Anforderungen für die Lernenden werden mit der Komplexität der Abbildung höher, jedoch kann dies auch eine sinnvolle Übung für Schülerinnen und

¹⁰⁴ KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 205.

¹⁰⁵ KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 206. (Kursivsetzung im Originaltext).

¹⁰⁶ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 205 – 206.

Schüler sein, um wesentliche Details aus einer komplexen Abbildung herauszulesen.¹⁰⁷

Analoge Bilder, also die zweite Kategorie von Bildern, sollen den Schülerinnen und Schülern helfen, nicht direkt beobachtbare Ereignisse und Vorgänge zu veranschaulichen. Kircher et al. geben dabei das Modellbild einer DNS oder Elektronenwolken zur Anzeige von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten als Beispiele an. Analoge Bilder können dabei strukturelle oder funktionale Analogien besitzen. Sie sollen den Schülerinnen und Schülern dabei helfen, Strukturen und Funktionsweisen zu erlernen und zu verstehen. Dabei könnten aber zu viele unerwünschte Nebeninformationen vermittelt werden, welche bei den Lernenden zu einer unerwünschten Schülervorstellung (z.B.: Größenverhältnisse) führen könnten.¹⁰⁸

Die dritte und letzte Kategorie von Bildern sind die logischen Bilder. Logische Bilder sind Grafiken, Diagramme oder grafische Darstellungen. Logische Bilder zeichnen sich laut Kircher et al. durch einen starken Abstraktionsgrad aus. Die Informationsvermittlung dieser Bilder erfolgt über Symbole, da in logischen Bildern keine physikalischen Details gezeigt werden. Die Symbole aus logischen Bildern sind sehr geläufig, so wie Schaltsymbole in der Elektrizitätslehre. Die Voraussetzung, dass Schülerinnen und Schüler mit logischen Bildern arbeiten können, ist immer die Bekanntheit der verwendeten Symbolik. Ist diese Voraussetzung nicht gegeben, so hindert dies die Lernenden an der Verarbeitung der in den Bildern enthaltenen Informationen. Zusätzlich sollten die Schülerinnen und Schüler auch mit der Verarbeitung von logischen Bildern vertraut sein. In Säulen-, Balken- und etlichen anderen Diagrammen sind meist viele Informationen enthalten.

¹⁰⁷ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 206.

¹⁰⁸ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 206.

Für die Lernenden ist es hier nicht immer einfach, die richtigen Informationen herauszulesen, daher benötigt dieser Vorgang auch etwas Zeit zum Üben.¹⁰⁹

Kircher et al. nennen vier Aspekte verschiedener Verwendungsmöglichkeiten für Bilder im Physikunterricht: „*Wissensvermittlung, Mehrfachcodierung, Strukturierung von Wissen und Motivation.*“¹¹⁰

Bei der Wissensvermittlung sollen die Bilder möglichst deutliche und adäquate bildhafte Vorstellungen vermitteln. Dabei lassen sich Bilder nicht nur auf Abbildungen von Gegenständen begrenzen, sondern können auch physikalische Abläufe darstellen. Kircher et al. nennen dabei als Beispiel die vier Arbeitsphasen beim Vier-Takt-Ottomotor. Wenn eine Lehrperson Bilder zur Wissensvermittlung verwendet, dann sollte die Aufnahme und Verarbeitung der Informationen der Bilder gesichert werden. Dazu sollte eine Lehrperson Bildbeschriftungen, Begleittexte oder verbale Hinweise tätigen, um den Schülerinnen und Schülern die Verarbeitung methodisch zu vereinfachen.¹¹¹

Bei der Mehrfachcodierung soll die Kombination von Bild und Text die Informationsverarbeitung der Schülerinnen und Schüler unterstützen. Dabei sind die Bilder eher eine Hilfe bzw. eine Ergänzung zur sprachlichen Ausführung. Die Lehrperson kann aber den Schwerpunkt auch auf die bildhafte Beschreibung legen, wobei dann die Texte eher als Organisations- bzw. Interpretationshilfe gelten. Die Bilder sollen vor allem als Ersatz für eine zu komplexe Beschreibung gelten. Ganz nach dem Sprichwort „One Picture is Worth a Thousand Words“¹¹² gilt auch hier, dass die Ereignisbeschreibung komplex und aufwendig sein und durchaus über ein Bild schneller verstanden werden kann. Bilder vermitteln nicht nur Informationen, sie können auch Textaussagen vereinfachen und als primäre

¹⁰⁹ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 206 – 207.

¹¹⁰ KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 208. (Kursivsetzung im Originaltext).

¹¹¹ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 209.

¹¹² FRÜHBEIS Xaver: „Ein Blick sagt mehr als 1000 Worte“. Bayern 2. Online Artikel. 08.12.2017.

Informationsquelle, zum Beispiel bei Aufbauanleitungen von Möbelhäusern, dienen.¹¹³

Schülerinnen und Schüler sollen jedoch nicht nur auf die Informationsvermittlung der Bilder angewiesen sein. Bilder können den Lernenden helfen, Inhalte, Konzepte und ihre Beziehungen zu einander räumlich darzustellen. Diese sogenannten „Concept Maps“ können Inhaltsbereiche sinnvoll strukturieren und den Konzepten bzw. dem Wissen eine gewisse Ordnung geben. Durch diese Strukturierungen können oft bildhafte Eselsbrücken entstehen, die es für Schülerinnen und Schüler einfacher machen, den Lerninhalt zu erlernen und zu verstehen.¹¹⁴

Die Nutzung von Bildern als Lehrmittel im Unterricht kann auch für Schülerinnen und Schüler als Motivation dienen. Lange und schwierige Texte gelten oft als Abschreckungen für die Lernenden. Wenn Bilder mit demselben Inhalt von der Lehrperson verwendet werden, so kann dies einen positiven Lerneffekt auf Schülerinnen und Schüler auslösen. Jedoch schreiben Kircher et al., dass das Zusammenspiel von Bild und Text als Lehrmittel entscheidend ist für den Lerneffekt der Kinder und daher die Lehrperson ein Zusammenspiel dieser Medien schaffen sollte. Doch der wesentliche Aspekt, der in dieser Literatur erwähnt wird, ist, dass Bilder definitiv zu einer tiefergehenden Informationsverarbeitung von Seiten der Schülerinnen und Schüler führen.¹¹⁵

4.2. Elektromagnetische Spektren in Schulbüchern

Um die verschiedenen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums untersuchen zu können, werden dabei nur Darstellungen benutzt, wie sie in aktuellen Schulbüchern für den Physikunterricht der Sekundarstufe II vorkommen. Grundsätzlich werden die Darstellungen aus den Physikschulbüchern der AHS

¹¹³ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 210.

¹¹⁴ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 210 – 211.

¹¹⁵ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 211.

untersucht, da das elektromagnetische Spektrum in den BHS gar nicht im Lehrplan vorkommt bzw. nur ein Randthema im Unterricht ist. Trotzdem wird eine Darstellung aus dem Physikschulbuch für die HTL gezeigt, um den Unterschied zwischen dieser Darstellung und einer Darstellung aus einem Physikschulbuch für die AHS zu veranschaulichen.

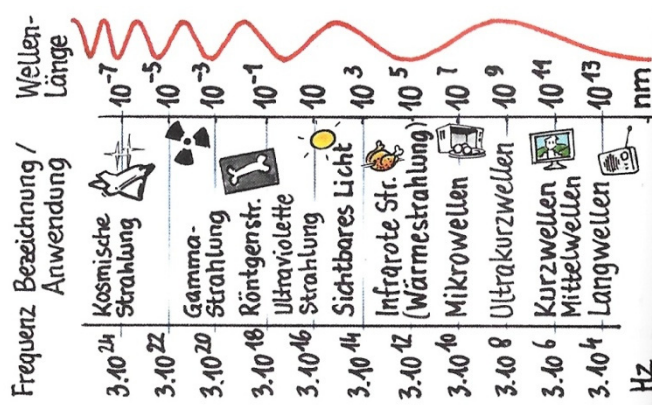


Abb. 4: Das elektromagnetische Spektrum (Big Bang – Naturwissenschaften HTL 1)¹¹⁶

Diese Darstellung des elektromagnetischen Spektrums, die man in Abbildung 4 sehen kann, findet man, wenn man in das aktuelle Schulbuch für Naturwissenschaften der HTL sieht. Das Spektrum wird dabei im Kapitel „Der ganze Wellenzoo“ vorgestellt, in dem es um Wellenarten und Wellenformen geht. Der Autor dieses Schulbuches, Martin Apolin, der auch die Physik-Schulbuchreihe „Big Bang“ für die AHS geschrieben hat, verwendet in diesem Buch eine andere Darstellung als in dem Schulbuch für die AHS. In dieser Darstellung findet man die verschiedenen Strahlungsarten und ihre zugehörigen Frequenzen und Wellenlängen. Zusätzlich kann man noch aus kleinen Bildern in dieser Darstellung herauslesen, in welchen Einsatzgebieten man solche Strahlungsarten finden kann. Am unteren Ende der Wellenlängenskala wird vom Autor auch noch die kosmische Strahlung angefügt. Diese Strahlungsart kommt in den meisten Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums nicht vor. Ein weiterer ungewöhnlicher und für Schülerinnen und Schüler vielleicht überfordernder Aspekt ist, dass die Wellenlängenskala in Nanometer ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$) angegeben ist, da üblicherweise die Größen nach dem

¹¹⁶ APOLIN Martin: Big Bang. Naturwissenschaften HTL 1. ÖBV. 1. Auflage. 2015. S. 104.

internationalen Einheitensystem angegeben werden. Die in der Abbildung dargestellte Welle mit dem durchgängigen Wellenverlauf ist fachlich gesehen falsch und sollte daher nicht in einem Schulbuch vorkommen. Dies könnte zu verschiedenen Schülervorstellungen beitragen und das sollte aus Sicht der Lehrperson verhindert werden.¹¹⁷

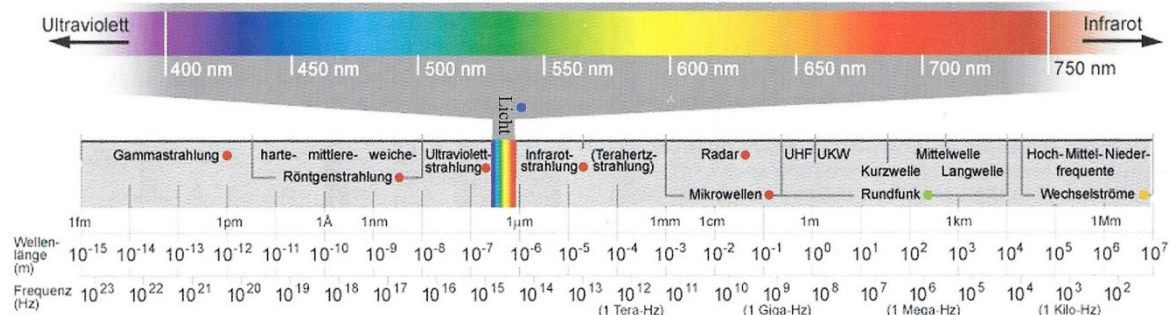


Abb. 5: Das elektromagnetische Spektrum (Big Bang 7)¹¹⁸

Interessanterweise verwendet Apolin in der Schulbuchreihe Big Bang für die AHS eine andere Darstellung des elektromagnetischen Spektrums, wie in Abbildung 5 zu sehen ist. Diese Darstellung ist deutlich größer als die vorherige (Abbildung 4) und bietet dadurch den Schülerinnen und Schülern mehr Informationen. Am unteren Wellenlängenbereich findet man keine kosmische Strahlung wie in Abbildung 4. Dafür ist die Wellenlängenskala in Meter angegeben und man kann recht einfach die Bereiche der verschiedenen Strahlungsarten ablesen. In der Darstellung aus Abbildung 5 lässt sich auch leicht die Wellenlänge einer bestimmten Farbe des sichtbaren Bereichs der elektromagnetischen Strahlung ablesen. Apolin hat bei den verschiedenen Strahlungsarten noch zusätzliche farbige Markierungen eingefügt, um den Schülerinnen und Schülern zu zeigen, in welchem Kapitel dieses Schulbuches die jeweilige Strahlungsart genauer besprochen wird. Wenn man nur die Abbildung 5 betrachtet, so könnte man meinen, Apolin lässt das elektromagnetische Spektrum durch zwei Wellenlängen begrenzen. Jedoch weist er in der Abbildungsbeschreibung

¹¹⁷ Vgl.: APOLIN Martin: Big Bang. Naturwissenschaften HTL 1. 2015. S. 104.

¹¹⁸ APOLIN Martin: Big Bang 7. ÖBV. 1. Auflage. 2008. S. 77.

der Abbildung im Schulbuche darauf hin, dass das elektromagnetische Spektrum nicht begrenzt und die Skala offen ist.¹¹⁹

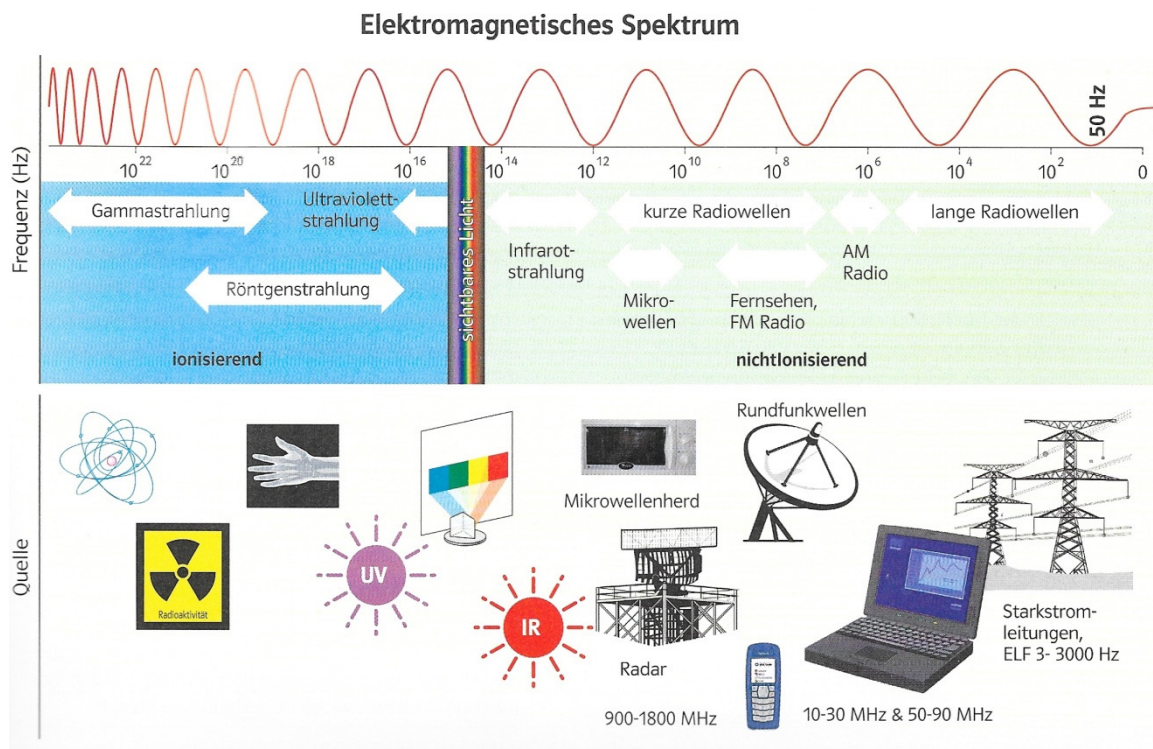


Abb. 6: Das elektromagnetische Spektrum (Sextl Physik 7)¹²⁰

Das elektromagnetische Spektrum der Abbildung 6 ist in dem Physikschulbuch der siebenten Klasse von Sextl et al. zu finden. Diese Darstellung bietet den Schülerinnen und Schülern viele Informationen zu den verschiedenen Strahlungsarten. Man findet die Strahlungsarten eingeteilt nach deren Frequenzbereich und zusätzlich dazu noch die jeweiligen Quellen der verschiedenen Strahlungsarten. Oberhalb der Frequenzskala hat der Ersteller dieser Darstellung auch eine durchgängige Welle eingezeichnet. Diese Welle soll noch einmal verdeutlichen, dass alle Strahlungsarten elektromagnetische Wellen sind, dennoch ist die abgebildete Welle physikalisch falsch so wie bei Abbildung 4 schon beschrieben wurde. Die fachliche Klärung zu dieser Welle findet man im Unterkapitel 4.4. Dabei kann man auch erkennen, dass die

¹¹⁹ Vgl.: APOLIN Martin: Big Bang 7. 2008. S. 77.

¹²⁰ SEXL Roman, KÜHNELT Helmut, STADLER Helga, JAKESCH Peter, SATTLBERGER Eva: Sextl Physik 7. ÖBV. 1. Auflage. 2018. S. 49.

Welle bei großer Frequenz öfters schwingt als bei niedrigerer Frequenz. Der Ersteller hat noch zusätzlich die Information der Ionisierung in die Darstellung verpackt. Der Frequenzbereich ist dabei unterteilt in ionisierend und nicht ionisierend. Die in der Darstellung vorkommenden Pfeile der zugehörigen Strahlungsarten überlappen sich teilweise im Frequenzbereich. Dadurch können die Schülerinnen und Schüler die Information aus der Darstellung entnehmen, dass die verschiedenen Strahlungsarten sich oftmals im Frequenzbereich überlappen und dass es keine klaren Grenzen gibt.¹²¹

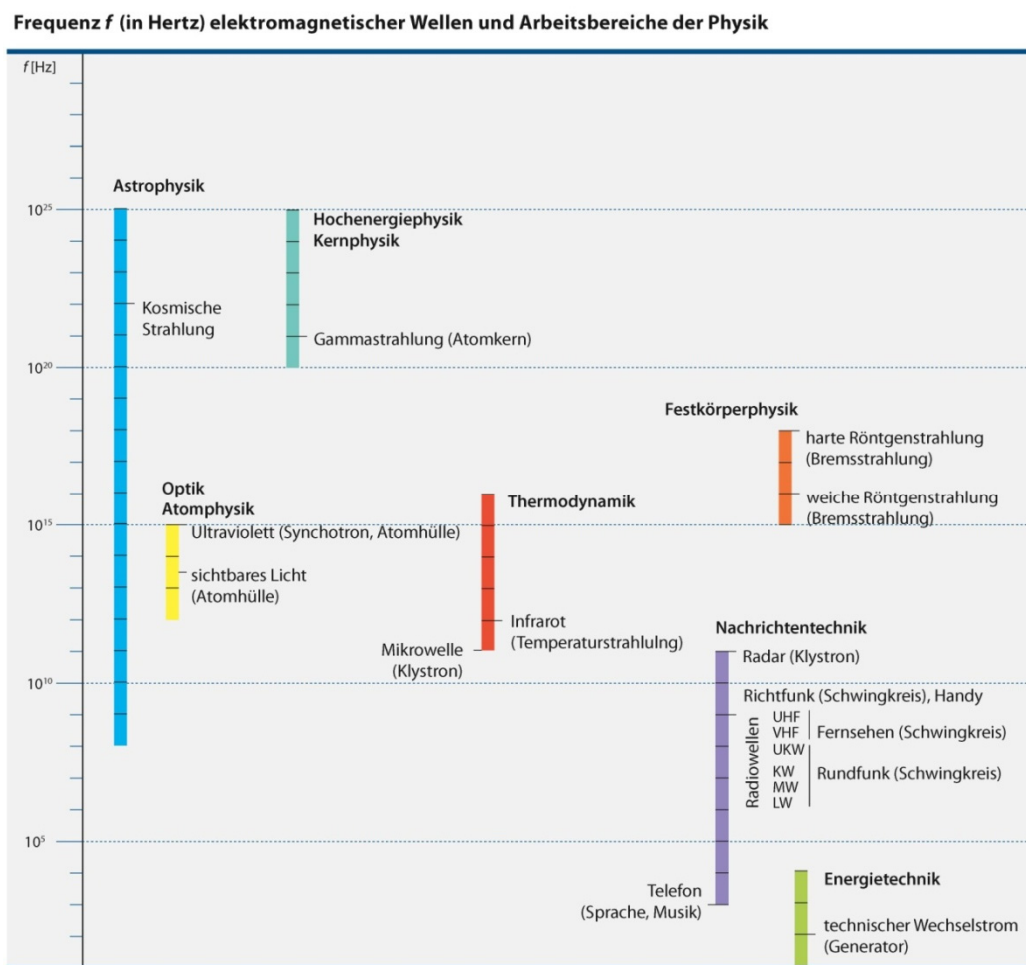


Abb. 7: Das elektromagnetische Spektrum (Physik compact. Basiswissen 7)¹²²

¹²¹ Vgl.: SEXL Roman et al.: Sexl Physik 7. 2018. S. 49.

¹²² JAROS Albert, NUSSBAUMER Alfred, NUSSBAUMER Peter: Physik compact. Basiswissen 7. ÖBV: 1. Auflage. 2012. S. 103.

Die Darstellung aus Abbildung 7 wird in der Schulbuchreihe Physik compact der AHS Oberstufe abgebildet. Jaros et al. setzen bei der Darstellung des elektromagnetischen Spektrums, so wie Sexl et al., auf eine Frequenzskala. Bei Jaros et al. werden die Frequenzen, im Gegensatz zu allen anderen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums, in einer vertikalen Skala dargestellt. Die verschiedenen Strahlungsarten werden mithilfe von farbigen Streifen abhängig ihrer Frequenz horizontal versetzt abgebildet. Dabei ist bei jeder Strahlungsart eine Überschrift enthalten und eine zusätzliche kleinere Beschreibung bei der Unterteilung der jeweiligen Strahlung. Für die Schülerinnen und Schüler wird noch zusätzlich ein Einsatzgebiet bzw. eine Quelle der jeweiligen elektromagnetischen Welle angegeben. In der Abbildung 7 kann man, so wie in Abbildung 6, gut erkennen, dass die Strahlungsarten keine klaren Abtrennungen der Frequenzbereiche haben, sondern sich teilweise überlappen.¹²³

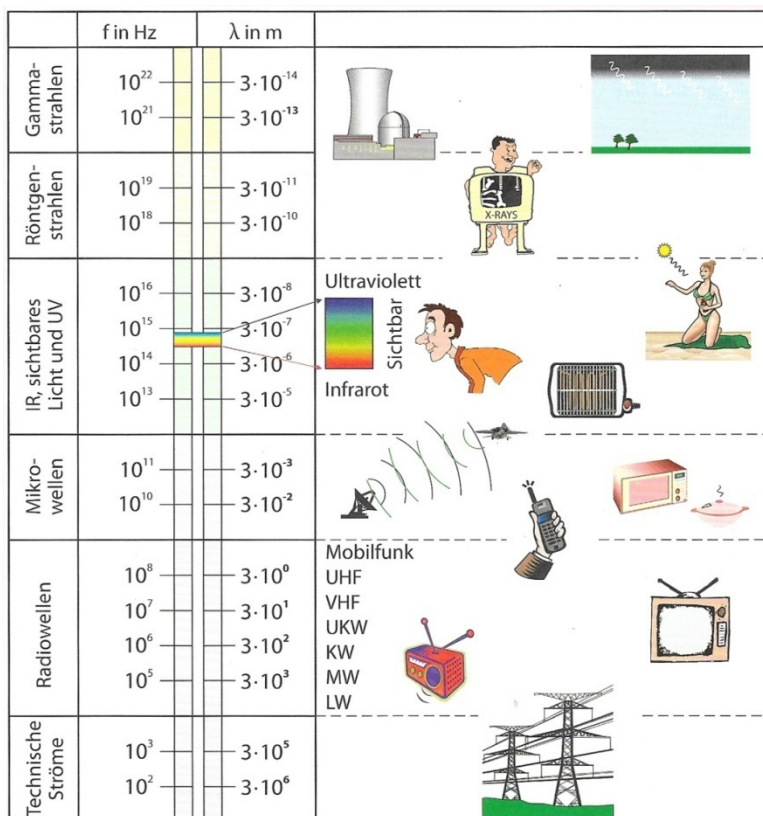


Abb. 8: Das elektromagnetische Spektrum (Faszination Physik 7 – 8)¹²⁴

¹²³ Vgl.: JAROS Albert et al.: Physik compact. Basiswissen 7. 2012. S. 103.

¹²⁴ PUTZ Bruno, JAHN Brigitte: Faszination Physik 7 – 8. Veritas – Verlag. 1. Auflage. 2019. S. 60.

Das elektromagnetische Spektrum von Putz und Jahn aus Abbildung 8 ist dem von Sexl et al. aus Abbildung 6 nicht unähnlich. In beiden Spektren finden Schülerinnen und Schüler eine Vielzahl an Informationen über elektromagnetische Wellen. In dem Spektrum von Putz et al. aus dem Schulbuch Faszination Physik 7 – 8 erkennt man eine vertikale Frequenz- und Wellenlängenskala und die jeweiligen Strahlungsarten nach ihrer Frequenz bzw. Wellenlänge positioniert. Bei jeder Art von elektromagnetischer Welle findet man auch die zugehörigen Quellen und Einsatzgebiete. Im Gegensatz zu anderen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums findet man in dieser Darstellung deutliche Grenzen zwischen den Strahlungsarten. Dies könnte leicht zu Verwirrungen seitens der Schülerinnen und Schüler führen, da es keine Grenzen zwischen den Strahlungsarten gibt und sich der Frequenz- bzw. Wellenlängenbereich teilweise überschneidet.¹²⁵

4.3. Bedingungen für Darstellungen in Schulbüchern

Um Bedingungen für die Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums zu erarbeiten, werden zuerst Bedingungen für allgemeine Darstellungen im Physikunterricht beschrieben. Damit eine Darstellung im Physikunterricht nicht für Verwirrung sorgt, müssen deshalb, nach Wolfgang Schnotz, vier allgemeine Gestaltungsprinzipien berücksichtigt werden. Diese vier Prinzipien sind laut Schnotz folgendermaßen: „Syntaktische Klarheit, semantische Klarheit, implizite Ordnung und Sparsamkeit“.¹²⁶ Kircher et al. haben diese vier Gestaltungsprinzipien aufgegriffen und für die Darstellungen im Physikunterricht beschrieben.¹²⁷

Die syntaktische Klarheit bedeutet für Kircher et al., dass die einzelnen Komponenten einer Darstellung für Schülerinnen und Schüler eindeutig erkennbar sein müssen. Speziell Linien, Punkte und Flächen sollen sich dabei sichtbar vom Hintergrund abheben und dürfen im Verhältnis nicht zu klein sein. Jede in der Darstellung

¹²⁵ Vgl.: PUTZ Bruno, JAHN Brigitte: Faszination Physik 7 – 8. 2019. S. 60.

¹²⁶ SCHNOTZ Wolfgang: Wissenserwerb mit logischen Bildern. In: WEIDENMANN Bernd: Wissenserwerb mit Bildern. Verlag Hans Huber. 1. Auflage. 1994. S. 131 – 133.

¹²⁷ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 207.

enthaltene Beschriftung sollte dabei klar der entsprechenden Komponente zuordenbar sein.¹²⁸

Die semantische Klarheit ist für Kircher et al. gegeben, wenn die Inhalte mit funktionalen Gemeinsamkeiten auch noch gemeinsame visuelle Eigenschaften besitzen. Wichtig für Schülerinnen und Schüler sei, dass sich Inhalte oder Komponenten unterschiedlicher Funktionen auch deutlich voneinander unterscheiden, zum Beispiel mit unterschiedlichen Farben. Es müssen deutliche Abgrenzungen bzw. deutliche Gemeinsamkeiten in den Darstellungen erkennbar sein.¹²⁹

Wenn es in der Darstellung auch eine für Schülerinnen und Schüler erkennbare, innere Struktur gibt, dann hilft es ihnen, eine Darstellung besser zu verstehen und zu erlernen. Die implizite Ordnung ist dadurch gegeben, wenn die innere Struktur für die Lernenden nach logischen Kriterien aufgebaut ist.¹³⁰

Darstellungen im Physikunterricht sollen nicht zu viele Effekte bzw. Komponenten besitzen. Durch Sparsamkeit mit Effekten oder Komponenten kann die Informationsvermittlung durch die Darstellung bei Schülerinnen und Schülern begünstigt werden. Zu viele Effekte in Darstellungen stellt das Gehirn der Lernenden vor die Aufgabe, erst die wichtigen Informationen aus dieser Reizüberflutung herauszufiltern, und verlangsamt dadurch den Aufnahmeprozess der Schülerinnen und Schüler.¹³¹

¹²⁸ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 207.

¹²⁹ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 207.

¹³⁰ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 207.

¹³¹ Vgl.: KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 208.

4.4. Bedingungen für elektromagnetische Spektren

Nachdem Bedingungen für allgemeine Darstellungen im Physikunterricht im vorigen Unterkapitel beschrieben wurden, wird nun versucht Bedingungen für Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums zu entwerfen. Dafür werden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der verwendeten Darstellung angesehen, welche teilweise schon in Unterkapitel 4.2., der Vorstellung der verschiedenen Darstellungen in den Schulbüchern, beschrieben wurden.

Die Kerninformation jeder Darstellung des elektromagnetischen Spektrums muss dabei die Frequenz- oder Wellenlängenabhängigkeit der elektromagnetischen Strahlung und die dadurch richtige Verortung im Spektrum sein. Wenn diese Abhängigkeit nicht gegeben ist, dann werden die Strahlungsarten womöglich falsch im Spektrum positioniert und damit ist die Idee des Konzepts des elektromagnetischen Spektrums nicht mehr vorhanden. Jedoch ist es sehr unwahrscheinlich, dass so eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums in einem Schulbuch vorkommt, da Schulbücher auf ihre fachliche Richtigkeit von den Autoren selbst und zusätzlich noch von Lektoren geprüft werden. Diese Kerninformation ist auch bei allen vorgestellten Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums gegeben und wird daher auch als die erste Bedingung für eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums festgelegt.

Eine weitere Bedingung für die Darstellungen der elektromagnetischen Spektren muss die klare Struktur im Spektrum sein. Die Bereiche der Strahlungsarten sollen deutlich sichtbar sein, die dazugehörigen Überschriften bzw. Beschreibungen klar und deutlich sein, und falls die Information von Quellen- oder Anwendungsgebiete enthalten ist, dann muss diese auch deutlich der jeweiligen Strahlungsart zuordenbar sein.

In den meisten Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums wird der sichtbare Bereich der elektromagnetischen Strahlung, das Licht, immer besonders deutlich hervorgehoben. Dies ist in den Spektren von Apolin, Putz und Sexl (Abbildungen 5,6 und 8) gegeben durch eine besondere Hervorhebung mit den sichtbaren Farben. Speziell bei dem Schulbuch von Apolin für die AHS (Big Bang 7 – Abbildung 5) wurde

der sichtbare Bereich vergrößert und die Farben mit den jeweiligen Wellenlängen angegeben. Da der sichtbare Bereich der elektromagnetischen Strahlung einen großen Teilbereich des Lehrplans für Physik der Sekundarstufe I einnimmt, ist eine weitere Bedingung, dass das Licht im Spektrum extra deutlich hervorgehoben wird. Schülerinnen und Schüler sollten dabei auf den ersten Blick gleich erkennen, in welchem Bereich des elektromagnetischen Spektrums das Licht verortet ist.

In Bezug auf die allgemeinen Bedingungen darf eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums nicht zu viele Informationen bzw. Effekte beinhalten. Es muss für Schülerinnen und Schüler klar ersichtlich sein, dass alle Strahlungsarten zur Familie der elektromagnetischen Strahlung gehören und je nach Energie, Frequenz oder Wellenlänge im Spektrum positioniert werden. Bei den Darstellungen in den Schulbüchern gibt es solche, die sehr viele Effekte bzw. Informationen enthalten wie in Abbildung 6 (Sextl Physik 7) und in Abbildung 8 (Faszination Physik 7 – 8), aber auch weniger Informationen enthalten wie in Abbildung 4 (Big Bang – Naturwissenschaften HTL 1), Abbildung 5 (Big Bang 7) und in Abbildung 7 (Physik compact 7).

Lehrpersonen sollten immer darauf achten zu erwähnen, dass im elektromagnetischen Spektrum keine Grenzen existieren. Wie in dieser Arbeit schon mehrfach erwähnt wurde, gibt es Strahlungsarten, deren Wellenlängen bzw. Frequenzen sich überlappen. Dadurch könnte es für Schülerinnen und Schüler zu Verständnisschwierigkeiten kommen, wenn in den Darstellungen Grenzen eingezeichnet werden. Ob man dies als eine der Bedingungen für die Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums festlegen kann, wird sich im weiteren Verlauf bei der fachdidaktischen Forschung mithilfe von Schülerinnen und Schülern herausstellen. Die Frage, ob in den Darstellungen Grenzen eingezeichnet werden sollen, bleibt jedoch nicht die einzige Frage nach den Bedingungen, die vorerst noch ungeklärt bleibt.

Wenn man sich mit den verschiedenen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums beschäftigt, so tritt die Frage auf, ob es für Schülerinnen und Schüler sinnvoll wäre, wenn in den Darstellungen eine Ionisierungsgrenze eingezeichnet ist.

Ab einer bestimmten Wellenlänge (ungefähr UV-Strahlungsbereich) hat die elektromagnetische Strahlung eine so hohe Energie, dass die Strahlung ionisierend ist. Ob dies nun für Schülerinnen und Schüler hilfreich ist, eine Ionisierungsgrenze einzuzeichnen, soll auch noch am Ende dieser Arbeit geklärt werden.

Ein weiterer Aspekt, der als Bedingung noch nicht feststeht, ist die Frage nach der Wellenfreiheit. In den Schulbuchdarstellungen, die in dieser Arbeit vorgestellt wurden, gibt es lediglich im Physikschulbuch von Apolin für die HTL (Abbildung 4) und im Physikschulbuch von Sexl für die AHS (Abbildung 6) eine Welle in den Darstellungen, die durchgängig bei allen Strahlungsarten fortgesetzt wird. Dabei besteht ein grundlegendes fachliches Problem, da eine durchgehende Welle ohne kontinuierlichen Frequenzverlauf nicht existiert. Damit ist eine durchgehende Welle physikalisch gesehen falsch, auch wenn es nur den Lernenden helfen soll, zu verstehen, dass die Wellenlänge immer kleiner bzw. größer wird. Ob Schülerinnen und Schüler diese Information verarbeiten können, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht beantwortet werden. Mithilfe einer Analyse der Forschungsergebnisse sollte auf diese Frage am Ende eine Antwort gegeben werden können.

Da jede elektromagnetische Strahlung eine elektromagnetische Welle mit einer gewissen Wellenlänge bzw. Frequenz ist, besitzt jede elektromagnetische Strahlung eine Energie, die direkt proportional, wobei die Proportionalitätskonstante das Plancksche Wirkungsquantum ist, mit der Frequenz höher oder niedriger wird. Es wäre für Schülerinnen und Schüler sicher hilfreich, wenn die Energie im elektromagnetischen Spektrum enthalten ist und sie somit befähigt sind zu sagen, ob eine Strahlungsart energiereicher ist als eine andere. Jedoch ist in den verwendeten Schulbuchdarstellungen dieser Arbeit keine Energieskala enthalten. Ob dies eine mögliche Bedingung für Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums werden könnte, stellt sich eventuell im Zuge der fachdidaktischen Forschung heraus.

5. Fachdidaktische Forschung

Um die ungeklärten Fragen der Bedingungen für elektromagnetische Spektren zu klären, wird eine fachdidaktische Forschung durchgeführt. Dafür werden anhand von Forschungsfragen gezielt Aufgaben entwickelt. Diese Aufgaben sollen dann von vier bis fünf freiwilligen Schülerinnen und Schülern aus der 7ten Klasse AHS bearbeitet werden. Während die Aufgaben von den Freiwilligen bearbeitet werden, wird versucht über eine geeignete Forschungsmethode speziell auf die Forschungsfragen einzugehen und diese, mithilfe der Ergebnisse der Aufgaben, zu beantworten.

5.1. Forschungsfragen

Da es viele unterschiedliche Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums gibt und auch in den Schulbüchern einige unterschiedliche Darstellungen zu finden sind, kam bei anfänglichen Überlegungen zum Thema „elektromagnetisches Spektrum“ die Frage auf, die als Forschungsfrage gewählt wurde, welche Bedingungen eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums erfüllen muss, dass Schülerinnen und Schüler erfolgreich damit arbeiten können. Das Wort „erfolgreich“ ist jedoch in der Pädagogik ein umstrittenes Wort. Wie kann man als außenstehende Person, meist als Lehrperson, beurteilen, ob Schülerinnen und Schüler im Unterricht erfolgreich mit Lehrmitteln arbeiten können? Ist ein Erfolg im Unterricht für alle Schülerinnen und Schüler gleich oder muss man bei jeder Person die Erfolge differenzieren? In dieser Arbeit wird der Begriff „erfolgreich“ anhand der Definition von Kircher et al. gedeutet. Kircher et al. beschreiben „erfolgreich“ folgendermaßen: „Unterricht ist als umso erfolgreicher zu bewerten, je besser die gesetzten Ziele erreicht werden.“¹³² Dadurch wird in dieser Arbeit festgelegt, wenn die freiwilligen Schülerinnen und Schüler die entwickelten Aufgaben mit den verschiedenen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums lösen können, dann ist dies als „erfolgreich“ anzusehen. Somit können dann auch die im vorherigen Kapitel definierten Bedingungen anhand der Aussagen der Schülerinnen und Schüler bewertet werden.

¹³² KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 2013. S. 249.

Während der Findungsphase der ersten bzw. der Hauptforschungsfrage trat auch die Frage auf, ob denn Schülerinnen und Schüler in der Lage sind, das elektromagnetische Spektrum als Hilfsmittel zu benutzen. Das Konzept des elektromagnetischen Spektrums ist recht ähnlich dem Konzept des Periodensystems der Elemente. Eine Fallstudie von Abels, Koliander, Plotz und Heidinger zeigte, dass Schülerinnen und Schüler mit der Menge an Informationen, die im Periodensystem enthalten sind, in großem Maße überfordert sind. In einer ausgewählten Unterrichtseinheit zeigte sich oft, dass Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten haben, die relevanten Informationen für einfache Erklärungen aus dem Periodensystem herauszulesen. Das Periodensystem der Elemente ist ein Hilfsmittel für Chemikerinnen und Chemiker, um möglichst viele Informationen zu verpacken. Das Gleiche gilt auch für das elektromagnetische Spektrum. Das elektromagnetische Spektrum ist auch ein Hilfsmittel für Physikerinnen und Physiker, in dem möglichst viele Informationen über die elektromagnetische Strahlung enthalten sind. Demzufolge könnten Schülerinnen und Schüler ebenso Probleme beim Herauslesen der Informationen aus dem elektromagnetischen Spektrum haben.¹³³

Aus dieser Folgefrage ergeben sich zwei weitere Folgefragen, die bei dieser fachdidaktischen Erforschung beantwortet werden sollen. In Bezug auf die vorige Forschungsfrage könnten Schülerinnen und Schüler an der Verwendung des elektromagnetischen Spektrums scheitern. Dabei wird untersucht, falls dieser Fall auftritt, warum diese Schülerinnen und Schüler an der Verwendung scheitern. Wenn sie jedoch das elektromagnetische Spektrum als Hilfsmittel nutzen können, dann stellt sich die Frage, welche der untersuchten Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums verwendet werden und warum ausgerechnet diese. Dadurch soll auch zeitgleich die Hauptforschungsfrage beantwortet werden, da die untersuchten Darstellungen unterschiedliche Bedingungen erfüllen.

¹³³ Vgl.: ABELS Simone, KOLIANDER Brigitte, PLOTZ Thomas, HEIDINGER Christine: Neon ist ein Gas und hat zwei Ringe – Zur Trennung der makroskopischen und submikroskopischen Ebene des Periodensystems. In: CHEMKON (25). Wiley-VCH Verlag. Nr. 6. 2018. S. 238 – 242.

5.2. Forschungsmethode

Um die Forschungsfragen möglichst beantworten zu können, sollen, wie schon erwähnt, freiwillige Schülerinnen und Schüler eigens entwickelte Aufgaben mithilfe von unterschiedlichen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums lösen. Während sie diese Aufgaben bearbeiten, soll mithilfe der „Think-Aloud-Methode“, also der Methode „Lautes Denken“, die jeweiligen Beweggründe für die verschiedenen Tätigkeiten der Lernenden herausgefunden werden. Anhand der Ergebnisse aus dieser Forschungsmethode sollen die Forschungsfragen bestmöglich beantwortet werden.

Die Think-Aloud-Methode oder das laute Denken ermöglicht es den Außenstehenden, Einblicke in die Welt der Probanden zu bekommen. Forscherinnen und Forscher wollen dadurch die Gefühle, Absichten und Gedanken der untersuchten Personen kennen lernen und dabei vor allem den Verarbeitungsprozess der Informationen untersuchen.¹³⁴

Die freiwilligen Schülerinnen und Schüler bekommen die eigens entwickelten Aufgaben für diese Untersuchung. Davor werden sie nach einem Zitat von Heine und Schramm folgendermaßen aufgefordert, die Think-Aloud-Methode richtig durchzuführen:

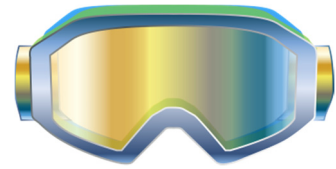
„Sprich bitte alles aus, was dir in den Sinn kommt und durch den Kopf geht, während du die Aufgabe löst. Dabei ist es wichtig, dass du nicht versuchst, zu erklären oder zu strukturieren, was du tust. Stell dir einfach vor, du bist alleine im Raum und sprichst mit dir selbst.“¹³⁵

Nach dieser Aufforderung werden die Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung der Aufgaben mit einem Audioaufnahmegerät aufgenommen. Dies soll die nachträgliche Auseinandersetzung und Interpretation der Beweggründe und Gedanken der Schülerinnen und Schüler vereinfachen.

¹³⁴ Vgl.: MEY Günter, MRUCK Katja: Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. VS Verlag. 1. Auflage. 2010. S. 476.

¹³⁵ HEINE Lena, SCHRAMM Karen: Lautes Denken in der Fremdsprachenforschung: Eine Handreichung für die empirische Praxis. In: VOLLMER Helmut: Synergieeffekte in der Fremdsprachenforschung: Empirische Zugänge, Probleme, Ergebnisse. 2007. S. 178.

5.3. Entwickelte Aufgaben



Aufgabe 1: Die Skibrille

Eine Skibrille der Marke „SchiBrün“ ist bei einem Skifachgeschäft im Abverkauf. Da du seit längerer Zeit schon am Überlegen bist, ob du dir eine neue Skibrille zulegst, liest du in der Beschreibung nach, welche optimalen Eigenschaften die Skibrille zum Skifahren bzw. Snowboarden besitzt. In der Beschreibung steht, dass das Brillenglas mit drei anderen Gläsern, die zusätzlich enthalten sind, getauscht werden kann. Die zusätzlich enthaltenen Gläser werden für Nebel, schlechte Sicht (zum Beispiel bei bewölktem Himmel) und bei wechselhaftem Wetter verwendet. Verschiedene Produkttests haben gezeigt, dass das Standardglas nur einen NoUV Filter besitzen muss, während das Glas für Nebel einen Filter für gelbliches bis rotes Licht besitzen soll. Bei schlechter Sicht soll das dafür gedachte Glas blaues bis oranges Licht filtern und bei wechselhaftem Wetter soll das Glas einen Filter für grünliches Licht besitzen.¹³⁶

- a) Beschreibe und notiere, welches Licht die verschiedenen Gläser, laut den Produkttests, durchlassen sollen.

Standard: Ganzer sichtbarer Bereich, Nebel: Gelb bis Rot, schlechte Sicht: Blau bis Orange, wechselhaftes Wetter: Grün

- b) Beschreibe und notiere, welchen Wellenlängenbereich die jeweiligen Gläser durchlassen sollen.

Standard: $400nm - 750nm$, Nebel: $600nm - 750nm$, schlechte Sicht: $450nm - 650nm$, wechselhaftem Wetter: $510nm - 570nm$

- c) Erkläre und notiere, welchen Frequenzbereich das Standardglas der Skibrille durch den Filter lässt.

Frequenzbereich zwischen $3 \cdot 10^{14}Hz - 8 \cdot 10^{14}Hz$

¹³⁶ Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/photos/grafik-skibrille-brille-3962951/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:43).

Aufgabe 2: Das Radio



Der 17-jährige Alexander hat zur bestandenen Führerscheinprüfung ein gebrauchtes Auto von seinen Eltern geschenkt bekommen. Da es noch einen alten Kassettenrecorder eingebaut hat, will sich Alexander ein neues Autoradio einbauen. Im Internet findet er ein geeignetes Modell, welches sich auch leicht und schnell einbauen lässt. Als er jedoch das Datenblatt des Radios liest, steht in dem Blatt, dass das Autoradio einen Hochpassfilter eingebaut hat und dieser nur Wellenlängen kleiner als $10^4 m$ filtert. Alexander hat aber im Physikunterricht gelernt, dass Hochpassfilter nur Frequenzen durchlassen, die größer sind als die jeweilige angegebene Frequenz. Da Alexander nun verwirrt ist, fragt er dich um deinen Rat, da du im Physikunterricht immer besser warst als er.¹³⁷

- a) Erkläre und notiere, welche Frequenz im Datenblatt für die Grenze des Hochpassfilters angegeben wurde.

Ungefähr $2 \cdot 10^4 Hz$

- b) Erkläre und notiere, welchen Frequenzbereich der Hochpassfilter durchlässt.

$$2 \cdot 10^4 Hz - 9 \cdot 10^8 Hz$$

- c) Erkläre und notiere, in welchem Strahlungsbereich im elektromagnetischen Spektrum der Frequenzbereich zu verorten ist.

Im Radiowellenbereich

- d) Beschreibe und notiere, welchen Wellenlängenbereich die Radiowellen umfassen.

Ungefähr $0,5 \cdot 10^0 m - 1 \cdot 10^4 m$

¹³⁷ Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/photos/kassette-tape-magnetband-band-2979725/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:51).



Aufgabe 3: Der Fernsehsender

Eine ältere Dame hat einen alten Fernseher mit einer Fernsehantenne. Jeden Tag setzt sie sich nach dem Mittagessen in ihr Fernsehzimmer und sieht sich die „Die Barbara Karlich Show“ an. Eines Tages lässt sich die Dame von ihrer Tochter überreden, einen neuen Fernseher mit einer Satellitenschüssel zu besorgen, da zukünftig alle Fernsehsender nur mehr über die Satellitenschüssel empfangbar sind. Die ältere Dame schreibt sich noch die Sendefrequenz mit $5 \cdot 10^8 \text{ Hz}$ auf einen Notizzettel auf, um dann nach der Umstellung wieder ihr Lieblingsprogramm empfangen zu können.

Am nächsten Tag kauft sie sich einen neuen Fernseher und eine Satellitenschüssel und lässt diese auch gleich von Technikern einrichten. Die Techniker erklären ihr, dass die Fernsehsender über Mikrowellen ausgestrahlt werden. Diese Mikrowellen werden von einer Bodenstation zu einem geostationären Satelliten gesendet, der diese wiederum zur besagten Satellitenschüssel sendet. Sie bittet die Techniker, den Fernseher auf die notierte Sendefrequenz einzustellen, damit sie sicher gehen kann, dass sie ihr Lieblingsprogramm empfängt. Dies ist jedoch laut den Technikern nicht möglich, da die Sendefrequenzen bei einer Satellitenschüssel anders sind als bei einer Fernsehantenne.¹³⁸

- a) Erkläre und notiere, in welchem Strahlungsbereich sich die notierte Sendefrequenz befindet.

Radiowellen/Rundfunk – UKW Bereich

- b) Beschreibe und notiere, in welchem Strahlungsbereich sich die benötigte Sendefrequenz befinden müsste.

Im Mikrowellenbereich

- c) Beschreibe und notiere, welchen Frequenzbereich die Satellitenschüssel empfangen kann.

Ungefähr $10^9 \text{ Hz} - 10^{11} \text{ Hz}$

¹³⁸ Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/vectors/satellitensch%C3%BCssel-satellit-152751/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:55).

- d) Beschreibe und notiere eine Sendefrequenz, die das Lieblingsprogramm der alten Dame übertragen könnte.

$$2 \cdot 10^{10} Hz$$

- e) Beschreibe und notiere für die alte Dame den Unterschied zwischen der alten und der neuen Sendefrequenz anhand des elektromagnetischen Spektrums.

Die alte Sendefrequenz liegt im UKW-Bereich und ist nicht empfangbar für Satellitenschüssel, da diese nur Mikrowellen empfangen können. Die neuen Frequenzen sind Mikrowellen und können daher von der alten Fernsehantenne nicht empfangen werden.



Aufgabe 4: Energie der Lampen

Wie du im Physikunterricht vielleicht schon gelernt hast, steigt die Energie der elektromagnetischen Strahlung proportional mit ihrer Frequenz an. Dieser proportionale Zusammenhang zwischen Energie und Frequenz der elektromagnetischen Strahlung wird durch die Formel $E = h \cdot \nu$ ausgedrückt.

Stell dir vor, du findest auf einem Müllplatz eine Schwarzlichtlampe mit UV-Strahlung und eine Infrarotlampe mit Infrarotstrahlung und nimmst beide mit heim. Zuhause probierst du beide Lampen aus und siehe da – sie funktionieren!¹³⁹

a) Erkläre und notiere, welche der beiden Lampen die höhere Energie ausstrahlt. Die Schwarzlichtlampe, da UV-Strahlung eine höhere Frequenz besitzt.

b) Beschreibe und notiere den Wellenlängenbereich der beiden Strahlungen. Infrarotstrahlung: $10^{-5}m - 10^{-6}m$, UV-Strahlung: $10^{-7}m - 10^{-8}m$

c) Erkläre und notiere, welcher der beiden Bereiche den größeren Wellenlängenbereich besitzt. Die Infrarotstrahlung da $10^{-5}m > 10^{-7}m$

¹³⁹ Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/vectors/wlan-signal-schwarz-wireless-303722/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:56).



Zusatzaufgabe zu 4: Unterschied zwischen den Strahlungen

Du hast gelernt, dass dein Smartphone Mikrowellen ausstrahlt und empfängt.¹⁴⁰

- a) Erkläre und notiere, welche Strahlung (Mikrowellen, Infrarot oder UV-Strahlung) die höhere Energie ausstrahlt.

UV-Strahlung

- b) Erkläre und notiere, welcher der drei Strahlungen die höchste Frequenz bzw. die größte Wellenlänge besitzt.

Höchste Frequenz: UV-Strahlung. Größte Wellenlänge: Mikrowellen

Wenn du ein Radio bei dir Zuhause stehen hast, so empfängt dieses Radiowellen. Bei der Radiowellenübertragung gibt es Kurz-, Mittel- und Langwellen.

- c) Beschreibe und notiere, welche der drei Wellen die größte Energie besitzt und welche der drei Wellen die kleinste Frequenz besitzt.

Größte Energie: Kurzwelle. Kleinste Frequenz: Langwelle.

¹⁴⁰ Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/vectors/wlan-signal-schwarz-wireless-303722/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:56).



Aufgabe 5: Medizinische Strahlungsbehandlung

In der Medizin wird Strahlung zur Untersuchung und Behandlung des Körpers benutzt. Dabei werden unterschiedliche Strahlungsarten für unterschiedliche Zwecke verwendet. Für Krebspatienten ist es oft notwendig, dass man den entstandenen Tumor mit harter Röntgenstrahlung bestrahlt, da durch die hohe Energie der Strahlung die DNA der Zellen im Tumor zerstört werden und dadurch die Krebszellen absterben. Wenn man sich einen Arm bricht, so wird die Patientin oder der Patient mit weichen Röntgenstrahlen, die aber eine weitaus kleinere Frequenz haben als die harten Röntgenstrahlen, bestrahlt, damit ein Bild des Bruches erzeugt wird. Dabei ist es wichtig, dass man die anderen Körperteile, die nicht bestrahlt werden sollen und gesund sind, richtig abschirmt. Manche Organe werden beeinträchtigt, wenn elektromagnetische Strahlung von hoher Energie auf sie trifft, und müssen daher geschützt werden.¹⁴¹

- a) Beschreibe und notiere, zwischen welchen zwei Bereichen die Röntgenstrahlung im elektromagnetischen Spektrum positioniert ist.

Zwischen Gammastrahlung und UV-Strahlung.

- b) Beschreibe und notiere den gesamten Frequenz- und Wellenlängenbereich der Röntgenstrahlung.

Frequenz: ca. $10^{16} \text{ Hz} - 10^{20} \text{ Hz}$. Wellenlänge: ca. $10^{-11} \text{ m} - 10^{-8} \text{ m}$

- c) Überlege und notiere anhand des elektromagnetischen Spektrums die möglichen Strahlungsarten, die Schaden am Körper verursachen können.

Gammastrahlung, Röntgenstrahlung, UV-Strahlung

¹⁴¹ Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/photos/r%C3%B6ntgenstrahl-gesundheit-arm-1704855/> aufgerufen am 14.02.2020 um 12:00).

5.4. Forschungsfeld

Das Forschungsfeld dieser didaktischen Forschung ist durch den österreichischen Lehrplan begrenzt. Laut Lehrplan wird das elektromagnetische Spektrum erst in der siebenten Klasse AHS im Unterricht vorgestellt. Daher werden für diese Forschung nur Schülerinnen und Schüler aus dieser Schulstufe und Schulform befragt.

Die didaktische Forschung wurde an zwei Wiener Gymnasien durchgeführt. Die eine Schule ist ein Oberstufengymnasium mit einem naturwissenschaftlichen Schwerpunkt im ersten Wiener Gemeindebezirk und die andere Schule ein Unterstufen- und Oberstufengymnasium im fünfzehnten Wiener Gemeindebezirk, welche in der Oberstufe auch einen naturwissenschaftlichen Schwerpunkt anbietet. Aus beiden Schulen wurden jeweils zehn Schülerinnen und Schüler gebeten, die entwickelten Aufgaben zu bearbeiten und anschließend Fragen über die verschiedenen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums zu beantworten. Interessenshalber wurden in der ersten Schule die Noten des Physikunterrichts aus der Schulnachricht erfragt. Dabei stellte sich heraus, dass zufälligerweise jeweils zwei Lernende jeder Note, bis auf die Note „Nicht Genügend“, befragt wurden. Bei der Note „Nicht Genügend“ meldete sich nur eine Person freiwillig. Anstelle des zweiten Lernenden der Note „Nicht Genügend“ wurde eine Schülerin oder ein Schüler der Note „Sehr Gut“ befragt. Um das Forschungsergebnis vergleichen zu können, wurde versucht bei der zweiten Schule Schülerinnen und Schüler mit denselben Noten zu befragen. Jedoch meldeten sich fünf Schülerinnen bzw. Schüler mit der Note „Befriedigend“ und jeweils eine Schülerin bzw. ein Schüler mit der Note „Sehr Gut“, „Gut“ und „Genügend“ und zwei Schülerinnen bzw. Schüler mit der Note „Nicht Genügend“. Alle aufgenommen Daten von den Lernenden wurden vom Verfasser dieser Arbeit zum Schutz der Schülerinnen und Schüler anonymisiert.

In beiden Schulen wird im Physikunterricht das Schulbuch „Big Bang 7“ von Martin Apolin benutzt. Die Schülerinnen und Schüler aus dem Oberstufengymnasium kannten alle die Darstellung aus dem Schulbuch „Big Bang 7“, während die Schülerinnen und Schüler aus dem Gymnasium mit der Sekundarstufe I und II keine der Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums kannten.

5.5. Ergebnisse

Um die Ergebnisse bestmöglich zusammenzufassen wird vom Verfasser dieser Arbeit analysiert, welche Spektren bei welchen Aufgaben benutzt wurden, warum diese benutzt wurden und ob diese auch richtig benutzt wurden. Um den Lesefluss zu erleichtern, wird hier kurz nochmal beschrieben, welche Abbildung aus welchem Schulbuch ist und wird zusätzlich darunter nochmal, etwas verkleinert, angefügt.

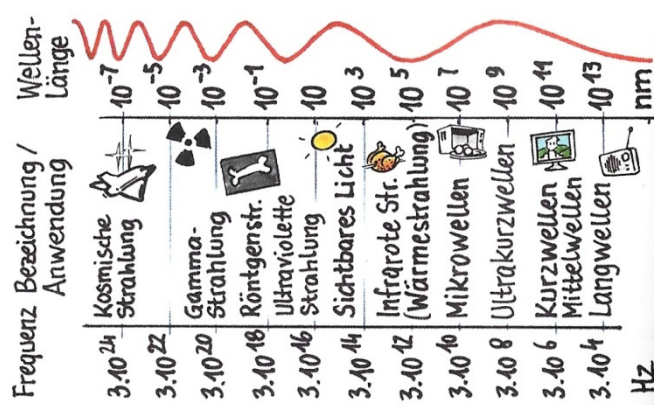


Abb. 4: Das elektromagnetische Spektrum (Big Bang – Naturwissenschaften HTL 1)¹⁴²

Die Abbildung 4 ist aus dem Schulbuch „Big Bang. Naturwissenschaften HTL 1.“ von Martin Apolin.

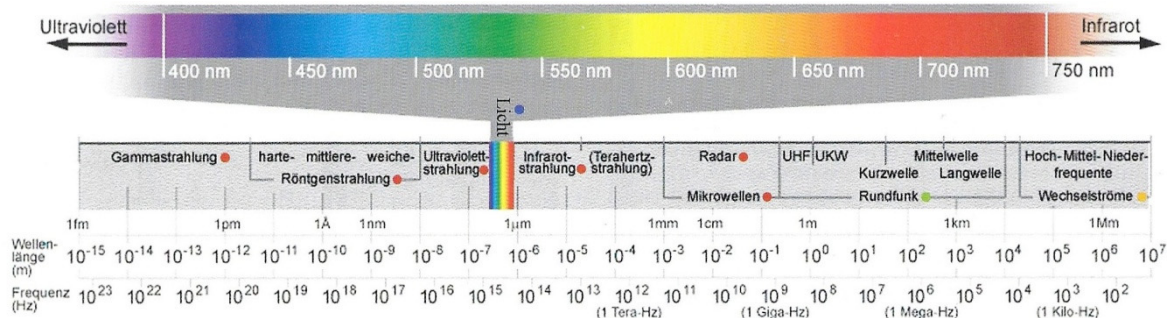


Abb. 5: Das elektromagnetische Spektrum (Big Bang 7)¹⁴³

Die Abbildung 5 ist aus dem Schulbuch „Big Bang 7“ von Martin Apolin.

¹⁴² APOLIN Martin: Big Bang. Naturwissenschaften HTL 1. ÖBV. 1. Auflage. 2015. S. 104.

¹⁴³ APOLIN Martin: Big Bang 7. ÖBV. 1. Auflage. 2008. S. 77.

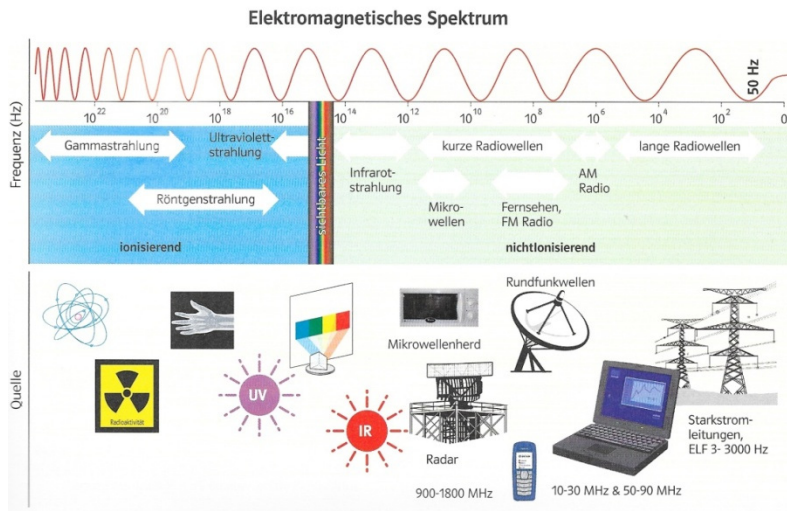


Abb. 6: Das elektromagnetische Spektrum (Sextl Physik 7)¹⁴⁴

Die Abbildung 6 ist aus dem Schulbuch „Sextl Physik 7“ von Roman Sextl.

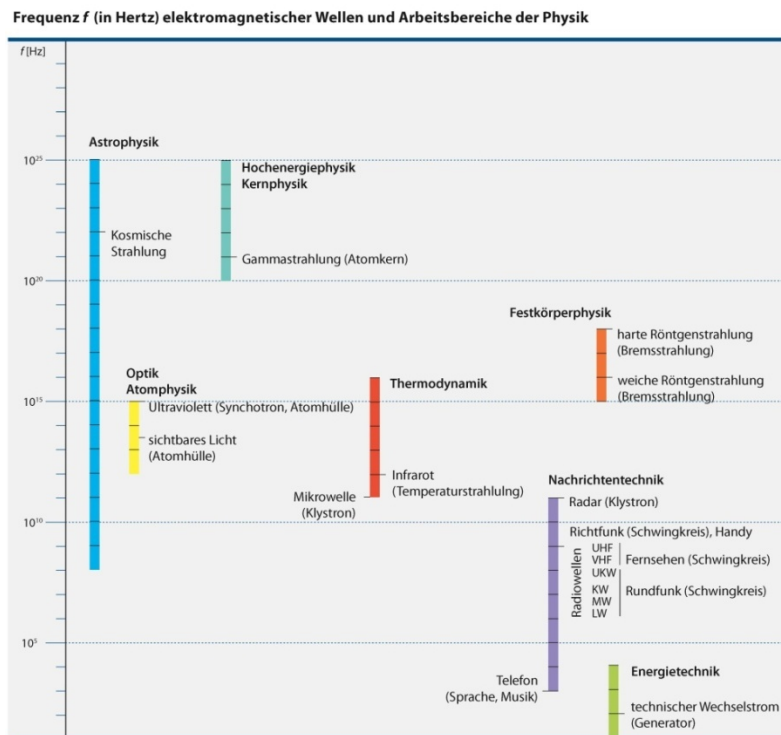


Abb. 7: Das elektromagnetische Spektrum (Physik compact. Basiswissen 7)¹⁴⁵

¹⁴⁴ SEXL Roman, KÜHNELT Helmut, STADLER Helga, JAKESCH Peter, SATTLBERGER Eva: Sextl Physik 7. ÖBV. 1. Auflage. 2018. S. 49.

¹⁴⁵ JAROS Albert, NUSSBAUMER Alfred, NUSSBAUMER Peter: Physik compact. Basiswissen 7. ÖBV. 1. Auflage. 2012. S. 103.

Die Abbildung 7 ist aus dem Schulbuch „Physik compact. Basiswissen 7.“ von Albert Jaros.

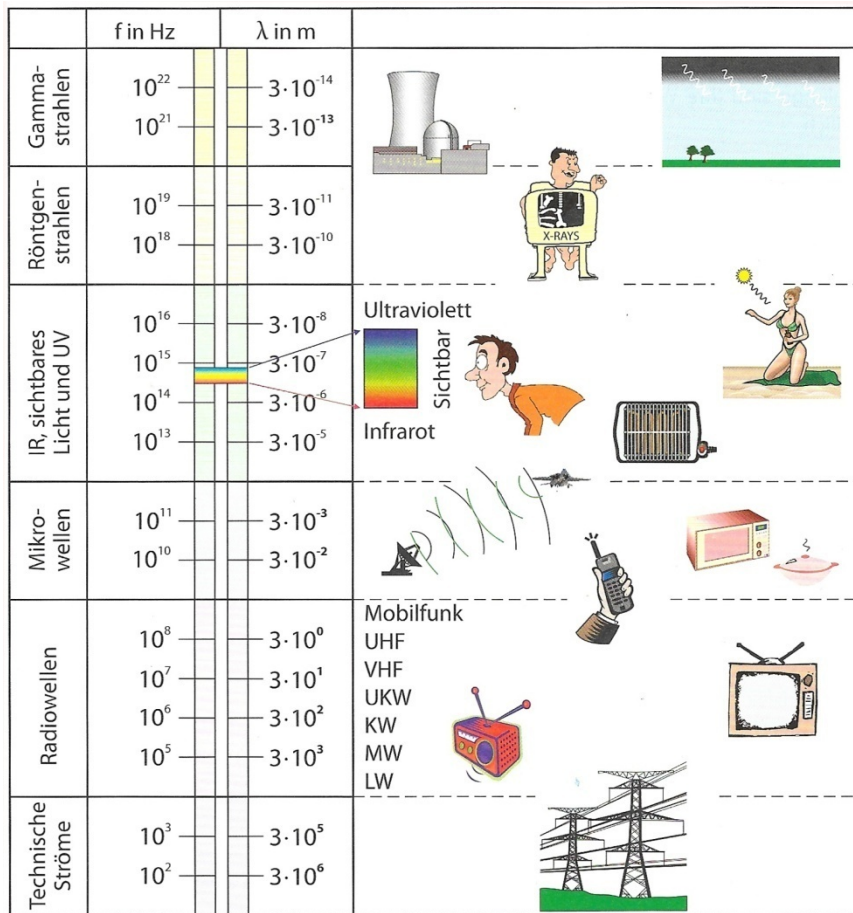


Abb. 8: Das elektromagnetische Spektrum (Faszination Physik 7 – 8)¹⁴⁶

Die Abbildung 8 ist aus dem Schulbuch „Faszination Physik 7 – 8“ von Bruno Putz.

¹⁴⁶ PUTZ Bruno, JAHN Brigitte: Faszination Physik 7 – 8. Veritas – Verlag. 1. Auflage. 2019. S. 60.

5.5.1. Ergebnisse der Aufgaben

Aufgabe 1: Die Skibrille

- a) Bei der ersten Aufgabe musste man die Farben aus der Angabe nochmals herauslesen. Diese Aufgabe haben 19 von 20 Schülerinnen und Schülern erfolgreich bearbeitet, während eine Schülerin oder ein Schüler die Aufgabenstellung nicht gelesen und das Spektrum aus dem Schulbuch „Big Bang 7“ (Abbildung 5) verwendet hat, um eine falsche Antwort zu geben. Diese Person schrieb als Antwort: „Grünes Licht“, da diese Person aussagt: „Ja, dann hätte ich da gedacht, da das sichtbare Licht einfach ... (*hört auf zu reden*). Ich glaub das ist da das grün-gelbliche Licht. Wie soll man das hinschreiben? Oder nein da das grüne Licht.“¹⁴⁷
- b) Diese Aufgabe haben 15 von 20 Schülerinnen und Schülern mit dem Spektrum aus Abbildung 5 richtig gelöst. Vier Personen haben ebenfalls diese Abbildung benutzt, haben jedoch anstatt der Wellenlänge des aufgespaltenen und hervorgehobenen Farbspektrums die untere Wellenlängenskala benutzt und dadurch falsche Antworten gegeben. Eine Schülerin oder ein Schüler hat es nicht geschafft, diese Aufgabe zu lösen. Eine Schülerin oder ein Schüler hat zusätzlich das Spektrum aus Abbildung 4 zum Ablesen der Wellenlänge des Standardglases benutzt. Dabei ist ihr oder ihm nicht aufgefallen, dass diese Skala in Nanometer (nm) angegeben ist und nicht wie alle anderen Skalen in Meter (m). Eine Person, die die untere Wellenlängenskala benutzte, schrieb als Antwort: „Nebelglas $\rightarrow 10^{-4}$ bis 10^5 , schlechte Sicht – Glas $\rightarrow 10^{-12}$ bis 10^0 , wechselhaft Glas $\rightarrow 10^{-7}$ bis 10^{-5} , Standard $\rightarrow 10^{-8}$ bis 10^{-7} “¹⁴⁸. Sie dachte sich dabei: „Ok da sind die Wellenlängen (*sieht auf die untere Wellenlängenskala*). Dann benutz ich jetzt Zettel 2 für Aufgabe 1b.“¹⁴⁹
- c) Bei dieser Aufgabenstellung konnten 3 von 20 Schülerinnen oder Schülern die richtige Antwort notieren. Von den drei Personen haben zwei die Abbildung 4 und eine die Abbildung 5 benutzt. Die zwei häufigsten Fehler waren die

¹⁴⁷ Ausschnitt aus Interview 2 ab Minute 03:19.

¹⁴⁸ Anmerkung des Autors: Alle Werte der Wellenlänge in Meter, Einheit wurde jedoch von dieser Person vergessen.

¹⁴⁹ Ausschnitt aus Interview 10 ab Minute 06:03.

Angabe einer Wellenlänge und die Angabe des falschen Frequenzbereiches. Eine Person gab als Antwort: „ 10^{22} bis 10^{16} “. Dabei sprach sie: „Da haben wir ja NoUV Filter. Und jetzt will ich das suchen welchen Frequenzbereich es haben sollte. ... (*Denkt nach und ist verunsichert*). Ok also diesen Bereich sollte man jetzt nicht durchlassen.“¹⁵⁰

Aufgabe 2: Das Radio

- a) Diese Aufgabe haben insgesamt nur 4 von 20 Schülerinnen bzw. Schülern richtig gelöst. Diese vier Schülerinnen bzw. Schüler sind aus dem Gymnasium aus dem 15. Wiener Gemeindebezirk und davon haben drei die Abbildung 5 benutzt und eine Person die Abbildung 8. Die anderen 16 Lernenden haben anstatt der Grenzfrequenz die angegebene Wellenlänge als Antwort geschrieben. Eine Person gab zum Beispiel: „kleiner als $10^4 m$ “ als Antwort. Dies begründete sie mit: „Also es wird halt angegeben das eben nur Wellenlängen kleiner als $10^4 m$ filtert.“¹⁵¹
- b) Bei dieser Aufgabenstellung haben 5 von 20 Schülerinnen bzw. Schülern die richtige Antwort gegeben. Von diesen fünf sind vier Lernende aus dem Gymnasium und eine Person aus dem Oberstufengymnasium. Von den vier Personen aus dem Gymnasium haben drei die Abbildung 5 benutzt und eine Person die Abbildung 8. Die eine Person aus dem Oberstufengymnasium hat zum Lösen dieser Aufgabe die Abbildung 6 benutzt. Die anderen 15 Schülerinnen oder Schüler haben hier weiterhin mit der Wellenlänge anstatt der Frequenz gearbeitet. Dies könnte als Folgefehler der vorherigen Aufgabe gesehen werden. Eine Person hat diese Aufgabe ausgelassen. Eine Person schrieb: „alles zwischen $10^4 m$ und $10^{12} m$ “ und gab dabei folgende Begründung: „Ich hab geschrieben zwischen 10^4 und 10^{12} , weil da steht alles Radiowellen und ich dachte ja das passt.“¹⁵²

¹⁵⁰ Ausschnitt aus Interview 20 ab Minute 11:23.

¹⁵¹ Ausschnitt aus Interview 3 ab Minute 07:30.

¹⁵² Ausschnitt aus Interview 17 ab Minute 16:27.

- c) Diese Aufgabe konnten 12 von 20 Schülerinnen bzw. Schülern richtig beantworten. Jeweils sechs Lernende von beiden Schulen schafften es, den Strahlungsbereich richtig aus den Spektren abzulesen. Dabei wurde einmal die Abbildung 4, viermal die Abbildung 5, dreimal die Abbildung 6 und viermal die Abbildung 8 benutzt. Die anderen acht Lernenden haben entweder die Aufgabe nicht lösen können und diese damit ausgelassen, oder sie haben im Spektrum von der falschen Skala abgelesen und damit einen falschen Strahlungsbereich als Antwort gegeben. Meist wurde anstatt der Frequenzskala in Abbildung 5 die Wellenlängenskala des Farbspektrums benutzt. Eine Person gab als Antwort: „Ultraviolett“ und sprach dazu: „Soll ich es einfach hinschreiben auch wenn ich mir ganz unsicher bin? (Verfasser: Ja natürlich.) Ok. (Verfasser: Welche Abbildung hast du benutzt?) Das Zweite. (Kurze Stille) Es könnte auch sein, dass man bei c die Nummer 1 verwenden sollte, aber ja, keine Ahnung. Ich komm da jetzt nicht darauf wie.“¹⁵³
- d) Die letzte Aufgabenstellung der Aufgabe 2 haben 9 von 20 Schülerinnen bzw. Schülern richtig beantwortet. Dabei verwendeten fünf Personen die Abbildung 5, eine Person die Abbildung 6 und drei Personen die Abbildung 8. Der häufigste Fehler von den restlichen Schülerinnen und Schülern war, dass sie die falsche Skala im Spektrum benutzt und dadurch den Frequenzbereich der Radiowellen notiert haben und nicht wie gefragt den Wellenlängenbereich. Zwei Personen haben kein Spektrum benutzt und aus der Angabe geschrieben, dass alle Wellenlängen unter der gegebenen Wellenlänge den Bereich der Radiowellen umfassen. Eine Person notierte bei dieser Aufgabenstellung: „ $10^4 - 10^9 \text{ Hz}$ “ und gab dabei folgende Begründung: „Radiowellen sind von 10^4 bis 10^9 .“¹⁵⁴

¹⁵³ Ausschnitt aus Interview 5 ab Minute 17:59.

¹⁵⁴ Ausschnitt aus Interview 8 ab Minute 10:54.

Aufgabe 3: Der Fernsehsender

- a) Die erste Aufgabenstellung der dritten Aufgabe haben insgesamt 12 von 20 Schülerinnen und Schülern richtig bearbeitet. Von diesen 12 Personen haben vier die Abbildung 4 benutzt, drei Personen haben Abbildung 5 benutzt, jeweils eine Person hat Abbildung 6 bzw. Abbildung 7 benutzt und drei Personen haben Abbildung 8 benutzt. Interessanterweise haben drei Schülerinnen oder Schüler die Aufgabe richtig bearbeitet, da die Bilder zu den Strahlungsbereichen von Abbildung 6 und Abbildung 8 ihnen geholfen haben. Von den restlichen acht Schülerinnen bzw. Schülern haben fünf im Spektrum auf der Frequenzskala falsch abgelesen und dadurch einen falschen Strahlungsbereich notiert. Die übrigen drei Personen haben die Angabe bzw. die Aufgabenstellung nicht richtig oder nicht genau genug gelesen und damit eine falsche Antwort gegeben. Eine Person schrieb als Antwort: „irgendwo zwischen UV bzw Gammastrahlung“ und gab dabei folgende Begründung: „Also $5 \cdot 10^8 \text{ Hz}$ sind ja relativ ... ähm ... relativ viel und ähm ... und der Rundfunk überhaupt ist ja nur in dem Bereich eigentlich, das heißt es ist außerhalb von dem Bereich irgendwo.“¹⁵⁵ Später gab er noch zur Aussage: „Also ich würd einfach mal sagen irgendwo, dass das irgendwo zwischen UV- und Gammastrahlung in die Richtung geht.“¹⁵⁶
- b) Diese Aufgabe haben 10 von 20 Schülerinnen und Schülern richtig bearbeitet. Dabei haben zwei Personen die Abbildung 4 und vier Personen die Abbildung 5 verwendet. Eine Person hat Abbildung 6 und zwei Personen Abbildung 8 verwendet. Die Abbildung 8 hat den zwei Lernenden wegen des Bildes geholfen die richtige Antwort zu geben. Zwei Schülerinnen bzw. Schüler haben diese Aufgabe nicht lösen können und daher keine Antwort gegeben. Von den restlichen acht Lernenden haben sieben Personen von der Frequenzskala abgelesen anstatt vom Strahlungsbereich. Eine Person gab dabei an, dass sie das Bild eines Mikrowellenherdes aus Abbildung 6 verwirrt habe, da sie dann annahm, dass Mikrowellen nur in Mikrowellenherde existieren, und hat

¹⁵⁵ Ausschnitt aus Interview 6 ab Minute 22:20.

¹⁵⁶ Ausschnitt aus Interview 6 ab Minute 26:12.

dadurch einen anderen Strahlungsbereich als Antwort gegeben. Eine von den beiden Personen, die die Aufgabe nicht lösen konnten, gab folgende Begründung: „Das wäre dann eben ... Das ist jetzt wieder in der Mitte dann wäre es von $3 \cdot 10^0$ bis $3 \cdot 10^3$. Ah die benötigte Sendefrequenz. Ok die $3 \cdot 10$ das kommt zur Satellitenschüssel ... (*liest die Angabe*) und beschreibe in welchem Strahlungsbereich sich die benötigte Sendefrequenz befinden müsste. Ok. (*Person gibt auf und streicht ihre Notiz durch und lässt die Antwort offen*)“¹⁵⁷

- c) Bei dieser Aufgabenstellung gaben 9 von 20 Schülerinnen und Schülern die richtige Antwort. Von diesen neun Personen hat eine Person die Abbildung 4 benutzt und dadurch nur einen mittleren Wert für den Frequenzbereich notiert, da es in dieser Abbildung keine Frequenz- und Wellenlängenbereiche gibt, die abgelesen werden könnten. Drei Personen haben die Abbildung 5 erfolgreich benutzt und fünf Personen konnten die Abbildung 8 als Hilfsmittel verwenden. Von den restlichen elf Personen haben neun Personen die Abbildungen falsch benutzt. Dabei haben sie den falschen Frequenzbereich abgelesen aufgrund eines Bildes von einer Satellitenschüssel oder haben statt der Frequenz die Wellenlänge notiert. Zwei Personen konnten diese Aufgabe nicht bearbeiten und haben damit keine Antwort gegeben. Die Person, die schon bei Aufgabe 2b beschrieben wurde, schrieb als Antwort: „ $3 \cdot 10^0 - 3 \cdot 10^3$ “ und handelte dabei im selben Gedankengang, da sie ihre bei der Aufgabe 2b durchgestrichene Notiz nun bei dieser Aufgabe hinschrieb.¹⁵⁸
- d) Für diese Aufgabe mussten die Schülerinnen und Schüler eine mögliche Sendefrequenz notieren. Dabei war es nicht unbedingt notwendig, eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums zu benutzen. Diese Aufgabe haben 11 von 20 Schülerinnen und Schüler richtig beantwortet. Von den elf Personen haben sieben mit dem elektromagnetischen Spektrum gearbeitet. Zwei Personen haben Abbildung 5, eine Person Abbildung 6 und vier Personen Abbildung 8 benutzt. Acht Lernende haben in den Darstellungen die falsche

¹⁵⁷ Ausschnitt aus Interview 3 ab Minute 15:53.

¹⁵⁸ Ausschnitt aus Interview 3 ab Minute 15:53.

Frequenz abgelesen oder statt der Frequenz eine Wellenlänge als Antwort gegeben. Eine Person hat es nicht geschafft, diese Aufgabe zu bearbeiten, und hat daher keine Antwort gegeben. Eine von den Personen, die eine Wellenlänge als Antwort gaben, schrieb: „ $3 \cdot 10^{-2}$ “ und sprach dabei: „Sendefrequenz dann ... Es kann eben nur eine Sendefrequenz in dem Bereich von $3 \cdot 10^0$ bis $3 \cdot 10^3$ übertragen werden. Das wären dann ... Mich irritiert es nur, also wir haben jetzt den Frequenzbereich und es ist die Sendefrequenz gefragt. Ich kann das sicher von den Abbildungen irgendwo herauslesen, welche Sendefrequenz. (Kurze Erklärung vom Verfasser). Ok. Also bei der Satellitenschüssel. Ahh $3 \cdot 10^{-2}$ dann. Ich schreib es jetzt auf. Ich weiß, dass es falsch ist.“¹⁵⁹

- e) Die letzte Aufgabenstellung der Aufgabe 3 haben 10 von 20 Schülerinnen und Schülern richtig beantwortet. Von beiden Schulen haben jeweils fünf Personen mit dem Spektrum richtig gearbeitet, wobei jedoch bei dem Gymnasium im 15. Wiener Gemeindebezirk zwei Personen mit Vorwissen gearbeitet haben anstatt die Informationen aus dem Spektrum abzulesen. Von den restlichen acht Lernenden haben drei Personen die Abbildung 4, eine Person die Abbildung 5, zwei Personen die Abbildung 6 und zwei Personen die Abbildung 8 benutzt. Die zehn Schülerinnen und Schüler, die die Aufgabe nicht richtig bearbeitet haben, haben die Aufgabe entweder nicht bearbeiten können oder haben aus den verschiedenen Spektren keine richtigen Informationen herauslesen können. Eine Person schrieb: „Radiowellen alte Sendebereich: $3 \cdot 10^0 - 3 \cdot 10^3$, Mikrowellenbereich: $3 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^3$.“ Dabei sprach sie: „Naja eben ihre alte Sendefrequenz hat sich im Bereich, in den Radiowellenbereich befunden also bei $3 \cdot 10^0 - 3 \cdot 10^3$ und der neue jetzt eben durch die Satellitenschüssel befindet sich jetzt im Mikrowellenbereich eben bei $3 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^3$.“¹⁶⁰

¹⁵⁹ Ausschnitt aus Interview 3 ab Minute 17:30.

¹⁶⁰ Ausschnitt aus Interview 3 ab Minute 19:20.

Aufgabe 4: Energie der Lampen

- a) Die erste Aufgabenstellung der Aufgabe 4 konnten 17 von 20 Schülerinnen und Schülern richtig beantworten. Dabei hat eine Person die Abbildung 4, neun Personen die Abbildung 5, zwei Personen die Abbildung 6 und eine Person die Abbildung 7 benutzt. Drei Schülerinnen bzw. Schüler aus dem Oberstufengymnasium haben die Aufgabe mit ihrem Vorwissen richtig beantwortet und eine Person aus dem Gymnasium hat die richtige Antwort durch eine Vermutung gegeben. Von den restlichen drei Schülerinnen bzw. Schülern hat eine Person die Angabe nicht genau gelesen und gedacht, dass bei größerer Wellenlänge auch die Energie größer ist. Eine Person hat zwar die richtige Skala der Abbildung 5 benutzt, aber konnte nicht die richtigen Werte ablesen und dadurch nicht auf die richtige Antwort schließen. Die dritte Person hat aus Abbildung 5 die richtigen Werte abgelesen, aber dachte, dass der Wert 10^{16} kleiner ist als der Wert 10^{12} . Dadurch hat auch diese Person eine falsche Antwort gegeben. Eine Person schrieb als Antwort: „IR-Lampe → hohe Wärmeenergie“ und sprach dabei: „Ich glaube die höhere Energie wird ausgestrahlt bei der Infrarotlampe, weil die auch Wärmeenergie zusätzlich ausstrahlt. (Auf Frage des Verfassers, ob er dies jetzt aus einer Abbildung abgelesen hätte, sagte die Person, dass sie beide Lampen zuhause hätte und beide Lampen dadurch kenne).“¹⁶¹
- b) Diese Aufgabe konnten lediglich 4 von 20 Schülerinnen und Schülern richtig beantworten. Diese vier Personen sind aus dem Gymnasium im 15. Wiener Gemeindebezirk und haben alle die Abbildung 5 richtig benutzt. Der häufigste Fehler bei dieser Aufgabe war, dass viele Lernende nur die Wellenlänge der Infrarotstrahlung bzw. der UV-Strahlung aus dem Farbspektrum abgelesen haben und zusätzlich noch ein Größer-als-Zeichen oder Kleiner-als-Zeichen dazu gemacht haben. Dies könnte als richtig gedeutet werden, jedoch hat auch die Gammastrahlung eine kleinere Wellenlänge als die UV-Strahlung, und fällt aber nicht mehr in diesen Strahlungsbereich. Einige Lernende haben zwar die richtige Wellenlängenskala benutzt, jedoch konnten sie den richtigen Wert

¹⁶¹ Ausschnitt aus Interview 6 ab Minute 29:30.

nicht ablesen. Eine Person hat die Abbildung 5 benutzt und die richtigen Werte von der richtigen Skala abgelesen, jedoch hat sie nicht erkannt, dass bei einer Hochzahl ein Minus dabei steht. Dadurch war die Antwort dieser Person falsch. Eine Person schrieb als Antwort: „Infrarot: $10^{-6} - 10^7$, UV-Strahlung: $10^{-15} - 10^{-7}$ “. Dabei überlegte sie sich: „Da bei Infrarot, da gibt es ja nicht mehrere Zahlen, soll ich da ein Größer-Gleich-Zeichen machen, würde das gehen? (Kurze Antwort vom Verfasser ohne ihr konkret zu helfen) Ok. (Kurze Stille) Oh. Ich glaube jetzt ... Ahhh.“¹⁶²

- c) Die letzte Aufgabenstellung der Aufgabe 4 konnten 14 von 20 Schülerinnen und Schülern erfolgreich bearbeiten. Dabei benutzte eine Person die Abbildung 4, zwölf Personen die Abbildung 5 und eine Person die Abbildung 8. Oftmals benutzten die Lernenden die Wellenlängenskala des Farbspektrums in Abbildung 5, um einzuschätzen, welche der beiden Strahlungen den größeren Wellenlängenbereich besitzt. Die Lernenden, die diese Aufgabe nicht geschafft haben, scheiterten an mathematischen Überlegungen und an mathematischen Problemen bei den Potenzen. Wie schon bei der ersten Aufgabenstellung dieser Aufgabe dachten viele, dass der Wert 10^{-8} größer ist als der Wert 10^{-5} auf der Wellenlängenskala. Eine Person antwortete: „Die UV-Strahlung“. Dabei überlegte sie: „Soll ich auch die Zahlen hinschreiben? (Verfasser verneint und fragt welche Abbildung benutzt wurde) Ok. Das zweite. (Die Person meint Abbildung 5)“¹⁶³

¹⁶² Ausschnitt aus Interview 20 ab Minute 36:17.

¹⁶³ Ausschnitt aus Interview 20 ab Minute 38:39.

Zusatzaufgabe zu 4: Unterschied zwischen den Strahlungen

- a) Diese Aufgabenstellung konnten 16 von 20 Schülerinnen und Schülern erfolgreich bearbeiten. Dabei benutzten drei Personen ihr Vorwissen, drei Personen benutzten die Abbildung 4, sieben Personen benutzten die Abbildung 5, zwei Personen die Abbildung 6 und eine Person die Abbildung 7. Dabei haben alle Schülerinnen und Schüler, die die Aufgabe mit dem elektromagnetischen Spektrum gelöst haben, die drei Frequenzen von den Strahlungen richtig abgelesen und verglichen, welche Strahlung die höchste Frequenz besitzt. Von den vier Lernenden, die diese Aufgabe nicht geschafft haben, hat es eine Person nicht probiert und die restlichen drei Personen dachten, dass, je größer die Wellenlänge ist, desto höher die Energie ist. Dadurch waren ihre Antworten falsch, obwohl sie richtig aus den Spektren abgelesen haben. Eine Person, die falsch geantwortet hat, schrieb als Antwort: „Mikrowellen“ und gab dabei als Begründung an: „Also von denen jetzt, glaub ich das Mikrowellen die höhere Energie ausstrahlen. Ähm. Weil die halt da weiter drüben sind, also eine höhere Wellenlänge haben.“¹⁶⁴
- b) Die Aufgabe haben nur 8 von 20 Schülerinnen und Schülern erfolgreich bearbeitet. Von den acht Lernenden sind sieben aus dem Gymnasium im 15. Wiener Gemeindebezirk und eine Person aus dem Oberstufengymnasium im 1. Wiener Gemeindebezirk. Diese eine Person hat die Abbildung 4 benutzt und dabei bei der richtigen Skala abgelesen. Von den anderen sieben Personen haben zwei die Abbildung 4, vier Personen die Abbildung 5 und eine Person ihr Vorwissen benutzt. Die restlichen zwölf Lernenden haben diese Aufgabenstellung nicht genau genug gelesen und dadurch oft nur einen Teil der Antwort notiert oder diese ausgelassen. Eine Person schrieb als Antwort: „höchste Frequenz: 10^{23} , größte Wellenlänge: 10^7 “ und sprach dabei: „Was meint man mit höchste Frequenz bzw. die größte Wellenlänge, soll ich da beides? (Verfasser meinte, dass er der Person nicht helfen kann) Ok.“¹⁶⁵

¹⁶⁴ Ausschnitt aus Interview 6 ab Minute 33:06.

¹⁶⁵ Ausschnitt aus Interview 19 ab Minute 34:10.

- c) Auch diese Aufgabe haben nur 8 von 20 Schülerinnen und Schülern erfolgreich bearbeitet. Dabei haben drei Personen die Abbildung 5 und drei Personen die Abbildung 6 benutzt. Zwei Personen benutzten ihr Vorwissen, um diese Aufgabe zu lösen. Die restlichen zwölf Lernenden haben entweder die Aufgabe ausgelassen oder nicht genau die Aufgabenstellung gelesen und dementsprechend falsche Antworten gegeben. Eine Person, die die Aufgabenstellung nicht genau gelesen hat, gab als Antwort: „Kurzwellen“ und sprach dabei: „Ja. Die Kurzwellen nehme ich an.“¹⁶⁶

Aufgabe 5: Medizinische Strahlungsbehandlung

- a) Die erste Aufgabenstellung dieser Aufgabe haben 14 von 20 Schülerinnen und Schülern richtig beantwortet. Dabei benutzten drei Personen die Abbildung 4, sieben Personen die Abbildung 5, zwei Personen die Abbildung 6, eine Person die Abbildung 7 und eine Person die Abbildung 8. Eine Person, die die Aufgabe nicht richtig beantwortet hat, benutzte die Angabe, um ihre Antwort zu formulieren. Die restlichen fünf Personen gaben zu ungenaue Antworten oder versuchten mit einer falschen Wellenlänge eine Antwort zu formulieren. Die Person, die die Angabe benutzte, schrieb als Antwort: „harte Röntgenstrahlung und weiche Röntgenstrahlung“ auf. Dabei sprach sie: „Ähm wie heißt das? Weiche und harte. Ja. Also a beantworte ich wieder mit dem Text.“¹⁶⁷
- b) Diese Aufgabe haben 7 von 20 Schülerinnen und Schülern richtig bearbeitet. Von den sieben Personen sind vier aus dem Gymnasium im 15. Wiener Gemeindebezirk und drei aus dem Oberstufengymnasium im 1. Wiener Gemeindebezirk. Alle sieben Schülerinnen und Schüler benutzten die Abbildung 5 als Hilfsmittel, um diese Aufgabe erfolgreich zu bearbeiten. Die restlichen dreizehn Lernenden scheiterten am Ablesen der Werte in den Spektren. Sie benutzten zwar die Abbildung 4, 5, 6 und 8, konnten aber aus

¹⁶⁶ Ausschnitt aus Interview 2 ab Minute 30:38.

¹⁶⁷ Ausschnitt aus Interview 5 ab Minute 40:18.

den richtigen Skalen nicht die richtigen Werte herauslesen. Eine Person, die falsche Werte abgelesen hat, schrieb als Antwort: „Frequenz $\rightarrow 10^{16} - 10^{21}$, Wellenlänge $\rightarrow 10^{-1}$ “. Dabei sprach sie: „Ich glaub das ist in der Abbildung. Röntgenstrahlung ... Oh aber ... hmm. Ich nehme für b den dritten Zettel (*Die Person meint Abbildung 6*), es steht zwar am vierten Zettel (*Die Person meint Abbildung 7*) aber keine Ahnung ich weiß nicht, ist vielleicht genauer. Äh hm. Also von ungefähr 10^{21} . Ok und auch noch den Zettel Nummer 1 (*Die Person meint Abbildung 4*).“¹⁶⁸

- c) Die letzte Aufgabenstellung der Aufgabe 5 haben 19 von 20 Schülerinnen und Schülern richtig beantwortet. Dabei wurden von zwei Personen die Abbildung 4, sechs Personen die Abbildung 5, sieben Personen die Abbildung 6, zwei Personen die Abbildung 7 und zwei Personen die Abbildung 8 als Hilfsmittel benutzt. Eine Person hat diese Aufgabe falsch bearbeitet, da sie die Aufgabenstellung zu ungenau oder nicht gelesen hat. Dadurch hat sie eine falsche Antwort gegeben. Diese Antwort war: „Wenn bestimmte Körperteile zu stark bestrahlt werden, können Organe beschädigt werden.“ (*Weil die Frage nicht beantwortet wurde, fragte der Verfasser dieser Arbeit nochmal nach und die Person wiederholte ihre vorherige Antwort.*)¹⁶⁹

5.5.2. Vor- und Nachteile der verschiedenen Spektren

Zusätzlich zu den Aufgaben haben die Schülerinnen und Schüler Fragen zu den verschiedenen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums beantwortet. Dabei wurde speziell auf die Vor- und Nachteile jeder Darstellung eingegangen und diese Antworten werden jetzt zusammengefasst wiedergegeben. Die Lernenden konnten dabei auch auswählen, ob ihnen eine oder mehrere Darstellungen besonders geholfen haben.

¹⁶⁸ Ausschnitt aus Interview 5 ab Minute 40:51.

¹⁶⁹ Ausschnitt aus Interview 14 ab Minute 36:20.

Abbildung 4:

Die Abbildung 4 ist aus dem Schulbuch „Big Bang. Naturwissenschaften HTL 1“ von Martin Apolin. Diese Darstellung fanden sieben Lernende als besonders hilfreich. Vier Lernende gaben an, dass diese Abbildung ihnen nicht geholfen hat. Die Darstellung aus der HTL bietet eine gute Übersicht über die verschiedenen Arten der elektromagnetischen Strahlung. Die Bezeichnungen sind dabei gut abzulesen und das Spektrum ist einfach und kompakt aufgelistet. Die Abbildung ist für Schülerinnen und Schüler sehr ansprechend und sieht einfach aus. Dabei ist zu sagen, dass alle Schülerinnen und Schüler diese Abbildung gedreht haben. Während sie im Schulbuch horizontal ausgerichtet ist und dadurch der Kopf nach rechts geneigt werden muss, um Daten abzulesen, haben die Schülerinnen und Schüler diese gedreht, sodass sie vertikal ausgerichtet ist und man diese, ohne den Kopf zu neigen, ablesen kann. Die Lernenden gaben jedoch an, dass diese Darstellung nur für den Überblick geeignet ist. Sie verhilft zwar zu einem guten ersten Eindruck über die elektromagnetische Strahlung, bietet aber sehr wenige Informationen für die Leserin oder den Leser. Die Daten sind ungenau und die Wellenlängenskala ist in Nanometer angegeben. Dies sollte zwar prinzipiell kein Problem sein und ist eine gute Idee, da der „Nullwert“ beim sichtbaren Licht liegt, stellt aber die Schülerinnen und Schüler vor massive Probleme, da viele der abgelesenen Werte falsch sind. Lediglich eine Person von den zwanzig befragten Personen stellte fest, dass die Skala in Nanometer angegeben ist und nicht wie die anderen Skalen in Meter.

Abbildung 5:

Die Abbildung 5 ist aus dem Schulbuch „Big Bang 7“ ebenfalls von Martin Apolin. Vierzehn Schülerinnen und Schüler empfanden diese Darstellung als besonders hilfreich. Von den Lernenden gab niemand an, dass ihnen diese Abbildung nicht geholfen hat. Die Befragten erzählten, dass sie diese Darstellung sehr gut fanden, da das Farbspektrum sehr deutlich aufgespalten wurde und man bei diesem die Wellenlänge sehr genau ablesen könne. Ein weiterer Vorteil dieser Abbildung ist, dass die Frequenz- und Wellenlängenskala genau übereinander liegen und darüber noch

die verschiedenen Strahlungsbereiche. Dies erleichtert den Lernenden das Ablesen der Daten um ein Vielfaches. Diese Darstellung bietet den Schülerinnen und Schülern sehr viele Informationen und ist ausführlicher und detaillierter als andere Darstellungen. Ein Nachteil dieser Informationsdichte ist jedoch die Schriftgröße der Zahlen und der Potenzen. Viele Lernende haben sich schwer getan beim genauen Ablesen der Daten aufgrund der Schriftgröße. Ab und zu wurde beim Bearbeiten der Aufgaben eine falsche Antwort gegeben, da einfach ein Minus bei der Potenz vergessen wurde oder die Zahl nicht deutlich zu lesen war. Des Weiteren war es für die Schülerinnen und Schüler ein Nachteil, dass das hervorgehobene Farbspektrum nicht besser abgetrennt ist. Dadurch kam es zur Verwirrung beim Ablesen der Wellenlänge, da manche Personen die falsche Wellenlängenskala benutzten. Dadurch hatte auf einmal die Röntgenstrahlung die gleiche Wellenlänge wie die Farbe Blau.

Abbildung 6:

Die Abbildung 6 ist aus dem Schulbuch „Sexl Physik 7“ von Roman Sexl. Neun Schülerinnen und Schüler gaben an, dass diese Darstellung des elektromagnetischen Spektrums ihnen besonders geholfen hat. Vier Personen fanden diese Darstellung nicht hilfreich. Diejenigen, die diese Darstellung hilfreich fanden, sahen einen großen Vorteil darin, dass viele Bilder in der Darstellung vorhanden sind. Die Bilder haben ihnen geholfen sich in der Vielzahl an Informationen zu orientieren. Die Abtrennung zwischen den Bereichen war ebenso hilfreich. Die Strahlungsarten haben öfters eine Unterteilung in diesem Spektrum und die Bilder gaben auch Anwendungsbeispiele zu den Strahlungsarten. Dennoch wirkte diese Darstellung für einige Lernende kompliziert und mit zu viel Text. Es gibt in diesem Spektrum nur eine Frequenzskala und diese ist für die Lernenden kompliziert und ungenau zum Ablesen. Eine Person meinte, dass die Bilder nicht genau einer Strahlungsart zuordenbar sind und sie dadurch verwirrt wurde.

Abbildung 7:

Die Abbildung 7 ist aus dem Schulbuch „Physik compact. Basiswissen 7“ von Albert Jaros. Diese Darstellung wurde von einer Person als hilfreich angegeben. Fünfzehn Schülerinnen und Schüler gaben an, dass diese Darstellung nicht hilfreich war. Diese Darstellung wirkt für die meisten Schülerinnen und Schüler kompliziert. Durch diesen schlechten ersten Eindruck haben es ein paar Schülerinnen und Schüler nicht probiert, mit dieser Abbildung zu arbeiten. Die Art der Auflistung der verschiedenen Strahlungsarten ist in diesem Spektrum sehr unübersichtlich. Die Lernenden gaben an, dass die vertikale Skala mit den dazugehörigen Balken der verschiedenen Strahlungsarten verwirrend und komisch ist. Es gibt nur eine Frequenzskala und diese ist laut den Schülerinnen und Schülern zu ungenau. Man kann die Zahlen nicht deutlich erkennen und im Spektrum sind zu viele für den Unterricht nicht notwendige Begriffe enthalten.

Abbildung 8:

Die Abbildung 8 ist aus dem Schulbuch „Faszination Physik 7 – 8“ von Bruno Putz. Drei Schülerinnen und Schüler gaben an, dass diese Abbildung ihnen besonders geholfen hat. Sechs Lernende gaben an, dass sie diese Abbildung als nicht hilfreich empfanden. Bei dieser Darstellung des elektromagnetischen Spektrums haben die Bilder oft geholfen, eine Vorstellung der verschiedenen Strahlungsarten zu erlangen. Die Frequenz- und Wellenlängenskala ist sehr übersichtlich dargestellt und das Spektrum ist generell übersichtlich und anschaulich. Dennoch gaben die Lernenden an, dass dieses Spektrum sehr ungenau ist und nur wenig Informationen liefert. Die abgetrennten Bereiche sind für die Schülerinnen und Schüler zwar ein kleiner Vorteil, dennoch kann man dadurch die Frequenz- und Wellenlängenbereiche nicht genau ablesen.

5.5.3. Fazit der elektromagnetischen Spektren

Jede Darstellung des elektromagnetischen Spektrums hat Vor- und Nachteile. Ob die Schülerinnen und Schüler jedoch mit einer dieser untersuchten Darstellung weiterarbeiten wollen, hängt davon ab, wie zufrieden sie mit einer Darstellung sind und ob sie die Nachteile dieser Darstellung akzeptieren können. Von den zwanzig befragten Schülerinnen und Schülern konnte jede Person ihr persönliches Fazit bekannt geben und damit beurteilen, mit welcher Darstellung sie weiterarbeiten würde. Acht Schülerinnen und Schüler gaben an, dass sie mit der Abbildung 5 weiterarbeiten würden. Sieben Personen waren von der Abbildung 6 sehr angetan. Jeweils zwei Lernende würden mit Abbildung 4 bzw. Abbildung 8 weiterarbeiten. Eine Person meinte, sie würde die Abbildung 7 zukünftig weiterverwenden wollen.

6. Diskussion und Ausblick

Elektromagnetische Strahlung im Unterricht ist für viele Schülerinnen und Schüler ein schwieriges Thema, da für viele Lernende Strahlung keinen natürlichen Ursprung hat und die sichtbare Strahlung anders ist als die nicht sichtbare. Speziell in der Sekundarstufe II, wenn das Kapitel der elektromagnetischen Wellen und der damit verbundene Energieübertrag gelehrt wird, wird es für viele Lernende kompliziert. Doch nicht nur das Thema selbst bereitet den Lernenden Probleme. Informationen aus einer Abbildung herauslesen zu können ist ein Punkt, an dem viele Schülerinnen und Schüler scheitern. Diese Fähigkeit, aus Abbildungen Informationen herauslesen zu können, ist im Hinblick auf die österreichische Zentralmatura sehr wichtig, da viele Aufgaben aus dem Unterrichtsfach Mathematik diese Fähigkeit benötigen. Wenn nun diese zwei Punkte zusammenkommen, es also Verständnisschwierigkeiten in der Physik und Informationsbeschaffung aus einer Abbildung gibt, dann könnte man meinen, dass ein Scheitern der Lernenden schon vorprogrammiert ist.

In dieser Arbeit wurde dieses Zusammenspiel dieser beiden Schwierigkeiten anhand der Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums erforscht. Es wurden in zwei Schulen insgesamt zwanzig Schülerinnen und Schüler zu diesem Thema befragt und getestet. Die Lernenden mussten fünf eigens für die Darstellungen entwickelten Aufgaben mithilfe der verschiedenen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums lösen. Anschließend wurden sie noch genauer zu den Darstellungen befragt.

Das Ergebnis dieser fachdidaktischen Forschung ist eindeutig. Fast alle Schülerinnen und Schüler haben die gegebenen Aufgaben mithilfe der zur Verfügung gestellten Darstellungen lösen können. Ein paar Aufgaben wurden besser gelöst als andere, jedoch im Gesamtbild gesehen kann man klar sagen: Die Schülerinnen und Schüler haben es geschafft, erfolgreich mit den Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums zu arbeiten. Während des Forschungsprozesses traten jedoch Situationen und Probleme auf, die auf fehlende Lesekompetenz seitens der Lernenden zurückzuführen sind. Fallweise konnten Schülerinnen bzw. Schüler eine Aufgabe

nicht lösen, da sie die Aufgabenstellung nicht ganz oder nicht genau genug gelesen haben. Dies lässt sich nicht auf nur eine Schule zurückführen, sondern es kam an beiden Schulen vor. Des Weiteren hatten die Schülerinnen und Schüler Probleme, den Unterschied bzw. den Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge zu erkennen. Oft war bei einer Aufgabe die Wellenlänge gefragt und die Lernenden haben stattdessen eine Frequenz als Antwort gegeben. Ein weiteres, eher mathematisches Problem, hatten die Schülerinnen und Schüler mit Potenzen. Welche Potenzen größer sind als andere Potenzen und dazu auch noch im negativen Zahlenbereich, stellte ein paar Lernende vor Schwierigkeiten.

Wenn man sich die Ergebnisse ansieht, so lässt sich eine deutliche Tendenz zu den Darstellungen aus den Schulbüchern „Big Bang 7“ und „Sexl Physik“ erkennen. Diese zwei Darstellungen würden 75% der befragten Schülerinnen und Schüler bevorzugen und mit diesen weiterarbeiten wollen. Beide Darstellungen beinhalten unterschiedliche Komponenten und erfüllen damit unterschiedliche Bedingungen. Während die Darstellung aus dem „Big Bang 7“ Buch die Lernenden mit ihrer Informationsdichte und dem Farbspektrum überzeugt, ist die Darstellung aus dem „Sexl Physik“ Buch anhand der zu den Strahlungsarten zugehörigen Bilder ein Favorit.

Da nicht alle Schülerinnen und Schüler gleich sind und dies auch nie so sein wird, haben alle Lernenden unterschiedliche Bedingungen definiert, die eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums erfüllen muss, sodass man damit erfolgreich arbeiten kann. Die erste und wichtigste Bedingung haben alle Schülerinnen und Schüler gleichermaßen definiert, die Kerninformation jedes Spektrums, nämlich die Frequenz- bzw. Wellenabhängigkeit der verschiedenen Strahlungsarten. Laut den Lernenden ist diese besonders wichtig, um mit dem Spektrum arbeiten zu können. Doch nicht nur diese Abhängigkeit ist wichtig, die Strahlungsbereiche müssen auch einer Frequenz- bzw. einer Wellenlängenskala eindeutig und deutlich zuordenbar sein. Viele Lernende beklagten sich über die zu kleine Schriftgröße der Buchstaben und Zahlen in den verschiedenen Darstellungen. Daher muss auch eine Bedingung sein, dass die Buchstaben und Zahlen in einer Schriftgröße sein müssen, die gut lesbar ist. Doch nicht nur die Lesbarkeit hat den Lernenden zu schaffen gemacht.

Es fiel ihnen unterschiedlich schwer von den verschiedenen Skalen abzulesen. Daher ist es für die Schülerinnen und Schüler wichtig, dass die Skalen eine sehr hohe Genauigkeit besitzen und die Frequenzen bzw. Wellenlängen gut ablesbar sein müssen. Das bedeutet, kleinere Skalierungen auf den Skalen wären notwendig, um die Genauigkeit für Schülerinnen und Schüler zu erhöhen. Zusätzlich zu der Skalierung sollten die Skalen auch immer in den richtigen Einheiten angegeben werden. Lediglich eine Person stellte fest, dass eine Skala in den verschiedenen Darstellungen nicht in Metern angegeben wurde. Dadurch waren die Antworten von allen anderen Schülerinnen und Schüler falsch, da nicht die SI-Einheit verwendet wurde, so wie es die Lernenden gewohnt sind.

Nicht nur die Skalengenauigkeit sollte erhöht werden, sondern auch die Genauigkeit der verschiedenen Strahlungsarten. Manche Lernende wünschten sich, dass die Unterteilungen, die in manchen Darstellungen gegeben sind, auch in anderen Darstellungen gegeben sind. Daher wäre es ein Vorteil, wenn eine Darstellung eine Unterteilung jeder Strahlungsart besitzt, sofern es eine gibt. Zusätzlich zu den Unterteilungen wünschen sich Schülerinnen und Schüler Bilder zu den Strahlungsarten. Wenn diese genau zu den richtigen Strahlungsarten positioniert sind, dann helfen sie den Lernenden bei der Orientierung und bei Anwendungen der Strahlungsarten im Alltag. Überraschenderweise gaben 15% der Schülerinnen und Schüler an, dass eine Ionisierungsgrenze in der Darstellung eine große Hilfe wäre. So wüsste man, ab welcher Frequenz bzw. Wellenlänge eine ionisierende Strahlung vorhanden ist.

Bei der Frage, ob die Schülerinnen und Schüler lieber von einer horizontalen oder einer vertikalen Skala ablesen würden, so entschieden sich 70% für die horizontale Skala. Ihnen würde es einfacher fallen, von einer horizontalen Skala abzulesen, da im Mathematikunterricht so ein Sachverhalt öfters auftritt und besprochen wird. Dadurch sind es die Lernenden gewohnt und zum Lesen ist es auch einfacher. Von den restlichen 30% gaben 15% an, ihnen sei eine vertikale Skala lieber, und 15% gaben an, ihnen sei es egal.

Definieren lassen sich somit folgende Punkte zur Beantwortung der Forschungsfrage, welche Bedingungen eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums erfüllen muss, dass Schülerinnen und Schüler erfolgreich damit arbeiten können:

- Frequenz- und Wellenlängenabhängigkeit muss gegeben sein.
- Strahlungsbereiche müssen deutlich der Frequenz und Wellenlänge zuordenbar sein.
- Buchstaben und Zahlen müssen deutlich erkennbar und groß genug sein.
- Skalen benötigen eine genaue Skalierung und müssen leicht ablesbar sein.
- Frequenz- und Wellenlängenskala müssen beide in der Darstellung vorhanden sein.
- Skalen müssen in SI-Einheiten gegeben sein.

Optional könnte man einer Darstellung noch Folgendes hinzufügen, damit den Schülerinnen und Schülern die Verwendung des Spektrums erleichtert wird:

- Die Frequenz- und die Wellenlängenskala sollen horizontal gezeichnet sein und übereinander liegen, damit der Zusammenhang leicht erkennbar ist.
- Die Strahlungsbereiche sollen Unterteilungen besitzen. Damit ist gemeint, dass man als Strahlungsbereich nicht einfach nur Radiowellen angibt, sondern diesen Bereich noch unterteilt in Kurz-, Mittel- und Langwellen.
- Im Spektrum soll eine Ionisierungsgrenze vorhanden sein.
- Kleine Bilder zu den Strahlungsbereichen sollen im Spektrum vorhanden sein. Diese sollen dabei eindeutig jedem Strahlungsbereich zugeordnet werden können.

Dies ist jedoch nur das Ergebnis einer Untersuchung mit zwanzig Schülerinnen und Schülern. Das Ergebnis bietet zwar einen guten Einblick in die Arbeitsweise der Lernenden mit dem elektromagnetischen Spektrum. Um jedoch genauere Bedingungen zu erforschen, wäre es notwendig, diese Untersuchung mit viel mehr Probanden durchzuführen. Die Bedingungen decken sich zum Teil mit den im Vorfeld überlegten Bedingungen aus dem Unterkapitel 4.4. Durch die Ergebnisse konnten jedoch noch zusätzliche Bedingungen definiert werden und ein paar von den im

Vorfeld überlegten Bedingungen wieder verworfen werden. Eine weitere Einschränkung dieser fachdidaktischen Forschung war, dass alle zwanzig Schülerinnen und Schüler mit dem Schulbuch „Big Bang 7“ von Martin Apolin arbeiten. Obwohl mehr als die Hälfte der Lernenden das elektromagnetische Spektrum nicht kannten, wäre es durchaus interessant, Schülerinnen und Schüler mit unterschiedlichen Schulbüchern zu befragen. Da diese Forschung nur an zwei Gymnasien in Wien durchgeführt wurde, könnte man zukünftig aus jedem Bundesland in Österreich zwei Gymnasien auswählen und dort eine Testung durchführen. Dies würde einen guten Einblick in die Arbeitsweise der Lernenden in ganz Österreich verschaffen und man hätte eine größere Datenmenge, um die erforschten Bedingungen zu verfeinern.

Zu der Wellenfreiheit konnten die Schülerinnen und Schüler keine Meinung äußern, da sie die Welle in den Abbildungen ignorierten oder diese Information nicht verstanden.

Um die Bedingungen zu verifizieren, könnte in einer zukünftigen Forschungsarbeit eine Darstellung anhand der erforschten Bedingungen erstellt werden. Diese Darstellung sollte dann mit den anderen Darstellungen den Schülerinnen und Schülern vorgelegt und analysiert werden, ob diese Darstellung den Lernenden helfen kann, mit dem elektromagnetischen Spektrum erfolgreich zu arbeiten. Wenn noch die vorher erwähnten Einschränkungen dieser Arbeit minimiert und weitere Untersuchungen mit der neuen Darstellung durchgeführt werden, dann könnte die eigens für die Schülerinnen und Schüler entwickelte Darstellung durchaus eine große Hilfe für das Thema „elektromagnetische Strahlung im Physikunterricht“ sein. Bei erfolgreicher Testung der erstellten Darstellung könnte diese in den verschiedensten Physikschulbüchern aufgenommen und abgebildet werden, um somit möglichst vielen Schülerinnen und Schülern in Österreich zu helfen. Denn dies sollte schlussendlich das Ziel einer jeden fachdidaktischen Forschungsarbeit sein.

7. Literaturverzeichnis

ABELS Simone, KOLIANDER Brigitte, PLOTZ Thomas, HEIDINGER Christine: Neon ist ein Gas und hat zwei Ringe – Zur Trennung der makroskopischen und submikroskopischen Ebene des Periodensystems. In: CHEMKON (25). Wiley-VCH Verlag. Nr. 6. 2018.

APOLIN Martin: Big Bang 7. ÖBV. 1. Auflage. 2008.

APOLIN Martin: Big Bang. Naturwissenschaften HTL 1. ÖBV. 1. Auflage. 2015.

BLECK-NEUHAUS Jörn: Elementare Teilchen. Von den Atomen über das Standard-Modell bis zum Higgs-Boson. 2. Auflage. Springer Spektrum. 2013.

BÖHMER Erwin, EHRHARDT Dietmar, OBERSCHELP Wolfgang: Elemente der angewandten Elektronik. Kompendium für Ausbildung und Beruf. 15. Auflage. Vieweg Verlag. 2007.

DUIT Reinders: Didaktische Rekonstruktion. PIKO-Brief Nr. 3. Februar 2010.

FRITSCHÉ Olaf: Physik für Biologen und Mediziner. Springer Spektrum. 2013.

HANSLMEIER Arnold: Das helle und das dunkle Universum. Springer Spektrum. 2017.

HEINE Lena, SCHRAMM Karen: Lautes Denken in der Fremdsprachenforschung: Eine Handreichung für die empirische Praxis. In: VOLLMER Helmut: Synergieeffekte in der Fremdsprachenforschung: Empirische Zugänge, Probleme, Ergebnisse. 2007. S. 167 – 206.

HÖLZLE Erhard, HÖNGISMANN Herbert: Ultraviolette Strahlung – Quellen, Spektren, Umwelteinflüsse. JDDG – Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft. 1. Veröffentlichung am 19.08.2005. September 2005. Vol. 3. S. 3 – 10.

JAROS Albert, NUSSBAUMER Alfred, NUSSBAUMER Peter: Physik compact. Basiswissen 7. ÖBV. 1. Auflage. 2012.

KIRCHER Ernst, GIRWIDZ Raimund, HÄUßLER Peter: Physikdidaktik. Theorie und Praxis. 3. Auflage. Springer Spektrum. 2013.

KLAFKI Wolfgang: Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Verlag Julius Beltz. 1971.

KOGAN Philip: Welt der Wissenschaft. Das Unsichtbare Spektrum. Grundlagen der elektromagnetischen Strahlung. Deutschsprachige Ausgabe. Kurfürst Verlag. 1966.

KRIEGER Hanno: Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes. 3. Überarbeitete und erweiterte Auflage. Vieweg + Teubner. 2009.

MAALAMPI Jukka: Die Weltlinie. Springer Verlag. 2008.

MANG Renz, KRUTMANN Jean: Sonnenschutz im Urlaub. Der Hautarzt (54). 18.04.2003.

MEY Günter, MRUCK Katja: Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie. VS Verlag. 1. Auflage. 2010.

NEUMANN Susanne, HOPF Martin: Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff Strahlung? Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften (17). 2011. S. 157 – 176.

NEUMANN Susanne, HOPF Martin: Students' Conceptions About 'Radiation': Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. Journal of Science Education and Technology (21). 2012. S. 826 – 834.

NORGARD John, BEST Gregory: The Electromagnetic Spectrum. in CAVELL Garrison: National Association of Broadcasters Engineering Handbook. Focal Press. 11. Ausgabe. 2017. Kapitel 1.1.

PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. Springer Vieweg. 2017.

PLOTZ Thomas: Lernprozesse zu nicht-sichtbarer Strahlung – Empirische Untersuchungen in der Sekundarstufe 2. Dissertation. 2017.

PLOTZ Thomas: Handystrahlung. Wie gefährlich ist sie jetzt wirklich? - Evidenzen und Interpretationen. Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule. 65 (2). 2016.

PUTZ Bruno, JAHN Brigitte: Faszination Physik 7 – 8. Veritas – Verlag. 1. Auflage. 2019.

SCHECKER Horst, WILHELM Thomas, HOPF Martin, DUIT Reinders, FISCHLER Helmut, HAAGEN-SCHÜTZENHÖFER Claudia, HÖTTECKE Dietmar, MÜLLER Rainer, WODZINSKI Rita: Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer Spektrum. 1. Auflage. 2018.

SCHNOTZ Wolfgang: Wissenserwerb mit logischen Bildern. In: WEIDENMANN Bernd: Wissenserwerb mit Bildern. Verlag Hans Huber. 1. Auflage. 1994.

SCHUSTER Norbert, KOLOBRODOV Valentin: Infrarotthermographie. 2. Überarbeitete und erweiterte Auflage. 2004.

SEVERIN Hans: 100 Jahre elektromagnetische Wellen. 1. Heinrich Hertz – Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft. Mitteilung aus dem Institut für Hoch- und Höchsthfrequenztechnik der RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM. eingelangt am 25.5.1987. Artikel in Frequenz. Band 41. Heft 10. S. 250 – 253.

SEXL Roman, KÜHNELT Helmut, STADLER Helga, JAKESCH Peter, SATTLBERGER Eva: Sexl Physik 7. ÖBV. 1. Auflage. 2018.

TIPLER Paul, MOSCA Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 7. Deutsche Auflage. Springer Spektrum. 2015.

WIESNER Hartmut, SCHECKER Horst, HOPF Martin: Physikdidaktik kompakt. Aulis Verlag. 3. Auflage. 2017.

ZINTH Wolfgang, ZINTH Ursula: Optik. Lichtstrahlen – Wellen – Photonen. De Gruyter Studium. 5. Überarbeitete Auflage. 2018.

Internetquellen:

BALL David: The Electromagnetic Spectrum: A History. Spectroscopy. Volume 22 – 3. 01.03.2007 (Quelle: <http://www.spectroscopyonline.com/electromagnetic-spectrum-history?id=&pageID=1&sk=&date=> aufgerufen am 16.01.2020 um 10:26).

FRÜHBEIS Xaver: „Ein Blick sagt mehr als 1000 Worte“. Online Artikel auf der Website: Bayern 2. 08.12.2017. (Quelle: <https://www.br.de/radio/bayern2/sendungen/kalenderblatt/0812-ein-blick-sagt-mehr-als-1000-worte-102.html> aufgerufen am 22.01.2020 um 14:19).

HORST Frank, JAILBIRD and PHROOD: Elektromagnetic spectrum –de.svg (Quelle: Von Horst Frank / Phrood / Anony - Horst Frank, Jailbird and Phrood, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3726606> aufgerufen am 27.11.2019 um 10:51).

LEANDER Lisa, SOMMER Sven: Strahlung und ihre Wirkung auf den Organismus. Online Artikel auf der Website: Welt der Physik. 20.03.2011 (Quelle: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/leben/einfluesse-auf-den-menschen/strahlungsauswirkung/> aufgerufen am 26.11.2019 um 15:41).

MEISSNER Willi: Desinfizieren mit Licht. Bakterien und Viren mit UV-Licht aus LEDs bekämpfen. Online Artikel auf der Website: Higgs. 15.05.2018 (Quelle: <https://www.higgs.ch/bakterien-und-viren-mit-uv-licht-aus-leds-bekaempfen/9842/> aufgerufen am 19.01.2020 um 10:59).

RATHJE Dirk: Wie erwärmt ein Mikrowellenherd? Online Artikel auf der Website: Welt der Physik. 28.04.2006 (Quelle: <https://www.weltderphysik.de/thema/hinter-den-dingen/mikrowellenherd/> aufgerufen am 21.11.2019 um 10:03).

RIS - Rechtsinformationssystem des Bundes: Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne - allgemeinbildende höhere Schulen. Fassung von 17.12.2019. (Quelle: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> aufgerufen am 17.12.2019 um 14:17).

Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Elektrischer und magnetischer Feldvektor einer elektromagnetischen Welle. Entnommen aus: TIPLER Paul, MOSCA Gene: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. 2015. S. 988, Abbildung 27.6 Elektrischer und magnetischer Feldvektor einer elektromagnetischen Welle. Die Felder sind in Phase; sie stehen senkrecht aufeinander und auf der Ausbreitungsrichtung der Welle.

Abbildung 2: Vier Vorgänge des Schwingkreises. Entnommen aus: PETERSEN Christian: Naturwissenschaften im Fokus III – Grundlagen der Elektrizität, Strahlung und relativistischen Mechanik, einschließlich stellarer Astronomie und Kosmologie. 2017. S. 113, Abb.: 1.93.

Abbildung 3: Darstellung des elektromagnetischen Spektrums. Entnommen aus: WIKIPEDIA von HORST Frank, JAILBIRD and PHROOD: „CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3726606>

Abbildung 4: Das elektromagnetische Spektrum (Big Bang – Naturwissenschaften HTL 1). Entnommen aus: APOLIN Martin: Big Bang. Naturwissenschaften HTL 1. ÖBV. 1. Auflage. 2015. S. 104.

Abbildung 5: Das elektromagnetische Spektrum (Big Bang 7). Entnommen aus: APOLIN Martin: Big Bang 7. ÖBV. 1. Auflage. 2008. S. 77.

Abbildung 6: Das elektromagnetische Spektrum (Sexl Physik 7). Entnommen aus: SEXL Roman, KÜHNELT Helmut, STADLER Helga, JAKESCH Peter, SATTLBERGER Eva: Sexl Physik 7. ÖBV. 1. Auflage. 2018. S.49.

Abbildung 7: Das elektromagnetische Spektrum (Physik compact. Basiswissen 7). Entnommen aus: JAROS Albert, NUSSBAUMER Alfred, NUSSBAUMER Peter: Physik compact. Basiswissen 7. ÖBV: 1. Auflage. 2012. S. 103.

Abbildung 8: Das elektromagnetische Spektrum (Faszination Physik 7 – 8). Entnommen aus: PUTZ Bruno, JAHN Brigitte: Faszination Physik 7 – 8. Veritas – Verlag. 1. Auflage. 2019. S. 60.

Abbildung in Aufgabe 1: Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/photos/grafik-skibrille-brille-3962951/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:43)

Abbildung in Aufgabe 2: Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/photos/kassette-tape-magnetband-band-2979725/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:51)

Abbildung in Aufgabe 3: Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/vectors/satellitensch%C3%BCssel-satellit-152751/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:55)

Abbildung in Aufgabe 4: Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/vectors/wlan-signal-schwarz-wireless-303722/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:56)

Abbildung in Zusatzaufgabe zu 4: Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/vectors/wlan-signal-schwarz-wireless-303722/> aufgerufen am 14.02.2020 um 11:56)

Abbildung in Aufgabe 5: Lizenzfreies Bild für diese Aufgabe wurde von pixabay.com entnommen. (Quelle: <https://pixabay.com/de/photos/r%C3%B6ntgenstrahl-gesundheit-arm-1704855/> aufgerufen am 14.02.2020 um 12:00)

8. Anhang

8.1. Abstract Deutsch

Das elektromagnetische Spektrum ist ein Konzept, um elektromagnetische Strahlung bestmöglich darzustellen, zu beschreiben und Informationen zu vermitteln. In den österreichischen Schulbüchern für den Physikunterricht gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichen Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums. Da Schülerinnen und Schüler oft Probleme haben, Informationen aus Abbildungen abzulesen, war das Ziel dieser Arbeit herauszufinden, ob Schülerinnen und Schüler eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums als Hilfsmittel verwenden können. Zusätzlich sollen Bedingungen erforscht werden, die eine Darstellung des elektromagnetischen Spektrums haben muss, sodass Schülerinnen und Schüler erfolgreich damit arbeiten können. Um die Bedingungen erforschen zu können, wurden Aufgaben entwickelt, die nur mithilfe der Darstellungen des elektromagnetischen Spektrums lösbar sind. Die Schülerinnen und Schüler sollten diese Aufgaben lösen und anschließend Fragen zu den verschiedenen Darstellungen beantworten. Mithilfe der Think-Aloud-Methode wurden die Lernenden während des Bearbeitungsprozesses beobachtet und die Gründe erforscht, warum eine bestimmte Darstellung gewählt wurde. Das Ergebnis dieser Forschungsarbeit ist, dass Schülerinnen und Schüler das elektromagnetische Spektrum als Hilfsmittel verwenden können. Anhand der Forschungsergebnisse konnten Bedingungen definiert werden, mit denen eine neue Darstellung des elektromagnetischen Spektrums erstellt werden kann, um Schülerinnen und Schülern die Informationsgewinnung aus diesem Konzept zu erleichtern.

8.2. Abstract Englisch

The electromagnetic spectrum is a concept to depict information on electromagnetic radiation in the best possible way. In Austrian physics textbooks there is a multitude of different representations of the electromagnetic spectrum. Since students often struggle with drawing conclusions from data displayed in graphs, the aim of this work was to find out whether students can use a representation of the electromagnetic spectrum as an aid. In addition it was researched, what conditions a representation of the electromagnetic spectrum must fulfil so that students can work successfully with it. In order to be able to research these conditions, tasks were developed that can only be solved with the help of representations of the electromagnetic spectrum. Students should complete these tasks and then answer questions about the various representations. By means of the think-aloud method students were observed while solving these tasks and the reasons why a certain representation was chosen were investigated. The result of this research is that students can use the electromagnetic spectrum as an aid. Based on the research results, conditions were defined under which a new representation of the electromagnetic spectrum could be created in order to make it easier for students to obtain information on electromagnetic radiation.