universität wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Entwicklung von Unterrichtsmaterial zum Thema Mikrowellenstrahlung mit dem Fokus auf Gefahren und Nutzen“

verfasst von / submitted by

Elisabeth Maria Friesenbichler

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2018 / Vienna, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet::	190 412 353
Studienrichtung lt. Studienblatt / degree programme as it appears on the student record sheet:	Lehramt UF Physik UF Spanisch
Betreut von / Supervisor:	Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Mitbetreut von / Co-Supervisor:	Mag. Dr. Thomas Plotz

Danksagung

Eine dieser Erinnerungen, die sich anfühlt als ob es gestern gewesen wäre: der erste Tag an der Universität Wien. Diese Mischung aus (Vor-)Freude, Nervosität, Ehrfurcht, Wissbegierde und Neugier. Der erste Schritt in eine neue Welt, voller unbekannter Variablen und dem Faktor der Zeit, der zu Beginn – relativ gesehen – endlos wirkte. Studieren, was sich zu Beginn noch wie die unendliche Geschichte anfühlte, wie ein verzweigter Irrgarten, dessen Ziel man lange nicht zu sehen vermag, entwickelte sich zu einer einzigartigen Reise, bei der neben Erinnerungen und Erlebnissen tiefe Freundschaften entstanden sind.

Ich möchte meinen Betreuern, Prof. Dr. Martin Hopf und Mag. Dr. Thomas Plotz, sehr für die Ermöglichung dieser Arbeit und die freie und selbstständige Umsetzung meines Themas danken.

Ebenfalls danken möchte ich der Administration und Direktion der Schule, in der die Testungen des Unterrichtsmaterials sehr zügig durchgeführt werden konnte, sowie den beiden Lehrpersonen, die mich enorm bei der Umsetzung unterstützten. Dank gebührt dabei auch den Schülerinnen und Schülern, die bei den Testungen mitgewirkt haben.

Einen großen Dank an Sarah Zloklikovits für die Unterstützung, besonders vor Beginn meiner Arbeit und rund um alles was LaTeX betrifft.

An dieser Stelle möchte ich ein paar sehr liebgewonnene Freundinnen nennen, die ich durch die Zeit in Wien kennen lernen durfte und die meine Studienzeit unvergesslich machten.

Caro und ich saßen bei der ersten Spanisch-Prüfung zufällig nebeneinander und haben uns seitdem nicht aus den Augen verloren. Ich möchte dir danken, für deine Unterstützung während des Studiums, die vielen schönen Tage und gemeinsamen Momente und deine motivierenden und kraftspendenden Worte, besonders zu Beginn dieser Arbeit.

Allessandra ist eine Freundin, auf die das Sprichwort „Liebe auf den ersten Blick“ nicht zutreffender sein könnte. Ich danke dir sehr für die unzähligen lustigen Abende, die gemeinsamen „Bib“-Treffen und, dass du meine Zeit in Wien so geprägt hast.

Theresa lernte ich in den Anfängen des Physik-Studiums kennen und schon sehr bald zeichnete sich der Anfang einer langen Freundschaft ab. Danke, dass du dir immer Zeit für gemeinsame Treffen, Ausflüge und Reisen nimmst und ich nach meinem Umzug auf einen

sicheren (meist sehr spontan ausgemachten) Schlafplatz bei dir zählen kann.
Zwei der Menschen, die ich ebenfalls durch das Studium kennen und im Laufe der Jahre lieben gelernt habe, sind Jenny und Lisa. Wir drei sind uns in den ersten Semestern des Physik-Studiums über den Weg gelaufen und schlagen uns seither gemeinsam, Seite an Seite durch. Ein Leben ohne euch beide könnte ich mir wahrlich nicht vorstellen, zu bereichernd, lustig, wertvoll und bedingungslos ist die gemeinsame Zeit. Ich möchte dir, Jenny, und dir, Lisa, ganz besonders danken.

Besonders möchte ich mich auch bei Viki bedanken, denn das gemeinsame Schreiben, deine Unterstützung und deine aufbauenden Worte haben mir gerade in der Anfangszeit enorm geholfen und mich aus dem ein oder anderen „Motivationsloch“ geholt. Es war sehr schön den Prozess des Verfassens der Diplomarbeit mit einer so langjährigen Freundin parallel erleben und teilen zu können.

Nach dem Umzug aufs Land – zurück in meine Heimat – war es unter anderem meine langjährige Freundin Dani, durch die ich die Zeit fern von Wien in sehr guter Gesellschaft verbringen durfte. Danke für die gemeinsame Zeit, dein Verständnis und deine bekräftigenden und bestärkenden Worte, die mich immer wieder aufgebaut haben.

Der größte Dank geht an meinen Freund Sam. Während meiner Studienzeit konnte ich mich uneingeschränkt und in jeder Hinsicht auf seine Unterstützung verlassen und trotz der großen räumlichen Distanz fühlte ich mich ihm stets sehr nah. Deine Ruhe und Ausgeglichenheit bauten mich in manch scheinbar ausweglosen Situationen auf und du hast mich motiviert, nach der besten Version meiner selbst zu streben. Ich bin unendlich dankbar, dich an meiner Seite zu haben.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. Vor allem bei meinen Eltern, ohne die ich jetzt nicht diese Zeilen schreiben würde und durch die meine Studienzeit zu einer sorgenfreien und so wunderbaren Zeit wurde. Danke Papa, für das Korrektur-Lesen und die nächtlichen Gespräche über meine Arbeit.
Ebenso will ich mich bei meinen beiden Brüdern und Yvonne bedanken, für eure Unterstützung, Bestärkung, euren Rückhalt und immer offene Ohren.
Ohne euch alle wäre dies nicht machbar gewesen.

Abstract

Elektromagnetische Strahlung ist ein tagtäglicher Begleiter unseres Lebens. Sei es in Form von sichtbarem Licht oder unsichtbarer Strahlung, wie Mikrowellenstrahlung. Diese Form der Strahlung wird unter anderem für die mobile Kommunikation, WLAN, Satellitenfernsehen oder die Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen eingesetzt. Doch trotz der großen Relevanz für den Alltag mangelt es an Unterrichtskonzepten zu diesem Thema. Ziel dieser Arbeit ist es, didaktisch fundiertes Unterrichtsmaterial zum Thema Mikrowellenstrahlung zu entwickeln. Dabei sollen die Eigenschaften von Mikrowellenstrahlung bei Interaktion mit Materie berücksichtigt, sowie auf Gefahren und Nutzen von Mobilfunkstrahlung eingegangen werden. Es wurde dafür mit dem Design-Based Research Ansatz gearbeitet: Das Ausgangsmaterial wurde erstellt, anhand der Think-Aloud Methode an einzelnen Schülerinnen und Schülern getestet und in der Schule in größerem Rahmen erprobt. Nach jeder Phase folgte die Weiterentwicklung des Materials.
Das Endergebnis dieser Arbeit stellt eine verständlich aufbereitete, schülerinnen- und schülerzentrierte und für den Regelunterricht einsetzbare Unterrichtseinheit zum Thema Mikrowellenstrahlung dar, die Unterrichtsmaterial für zwei Schulstunden umfasst und auf Schülerinnen und Schüler der 8. Schulstufe eines österreichischen Gymnasiums zugeschnitten ist.

Electromagnetic radiation is a daily companion of our lives. Whether it is in the form of visible light or invisible radiation such as microwave radiation. Amongst other things this form of radiation is used for mobile communication, wireless internet access, satellite television or heating up food in the microwave oven. Even though this topic is highly relevant for everyday life yet the didactic realization of teaching concepts is missing.
The aim of this work is to develop teaching material on the subject of microwave radiation. Based on this topic, the properties of microwave radiation when interacting with matter as well as the danger and benefit of mobile phone radiation should be taken into consideration. The design-based research approach was used to design this teaching concept: The first attempt of the material was created. The material was tested on students using the think-aloud method and tested on a larger scale at school. After each phase the material was going through progression.
The final result of this thesis is a comprehensible and student-centered teaching unit about microwave radiation for 8th-grade students of an Austrian secondary school.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **13**

2 Mikrowellenstrahlung **15**

2.1 Einordnung im Spektrum 15

2.2 Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten 16

2.2.1 Mikrowellenstrahlung 16

2.2.2 Mobilfunkstrahlung 18

2.3 Zusammenhang von Mobilfunkstrahlung und Krebs 20

2.3.1 Krebserkrankung 21

2.3.2 Aktueller Forschungsstand 22

3 Physikdidaktik **25**

3.1 Didaktische Rekonstruktion 25

3.1.1 Didaktische Analyse 26

3.2 Schülervorstellungen 26

3.2.1 Conceptual Change 27

3.2.2 Schülervorstellungen zu (Mikrowellen-) Strahlung 31

3.2.3 Anwendung im Unterricht 32

3.3 Gestufte Lernhilfen 32

3.3.1 Anwendung im Unterricht 33

4 Forschungsmethoden **35**

4.1 Design-Based Research 35

4.1.1 Anwendung in der Praxis 36

4.2 Think-Aloud Methode 37

4.2.1 Anwendung in der Praxis 38

4.3 Analysemethode 39

5 Entwicklung des Unterrichtsmaterials **41**

5.1 Didaktische Analyse 42

5.2 Ausgangsmaterial 49

5.2.1 Erste Unterrichtsstunde 49

5.2.2 Zweite Unterrichtsstunde 65
5.3 Erste Überarbeitung 72
5.3.1 Erkenntnisse – Erste Unterrichtsstunde 72
5.3.2 Erkenntnisse – Zweite Unterrichtsstunde 78
5.3.3 Änderungen – Erste Unterrichtsstunde 82
5.3.4 Änderungen – Zweite Unterrichtsstunde 90
5.4 Zweite Überarbeitung 94
5.4.1 Erkenntnisse – Erste Unterrichtsstunde 94
5.4.2 Erkenntnisse – Zweite Unterrichtsstunde 101
5.4.3 Feedback 103
5.4.4 Änderungen – Erste Unterrichtsstunde 108
5.4.5 Änderungen – Zweite Unterrichtsstunde 112

6 Diskussion **115**
Literatur 120

7 Anhang **125**

Abbildungsverzeichnis

2.1 Das elektromagnetische Spektrum (Rodenbücher, 2018) 15
2.2 Das Mobilfunknetz (Bauknecht, 2015) 18

5.1 Der zeitliche Verlauf der Entwicklung des Unterrichtsmaterials 41
5.2 Ein Beispiel eines Tipps einer gestuften Lernhilfe 50
5.3 Der Einführungstext zu elektromagnetischer Strahlung 51
5.4 Die Abbildung des elektromagnetischen Spektrums 52
5.5 Die Aufgabe zur Bildung von Merksätzen 53
5.6 Die Einleitung zum Experimentieren mit Mikrowellen 54
5.7 Der Einführungstext zur ersten Forschungsstation 55
5.8 Die Versuchsanleitung und die 1. Zusatz-Info zur ersten Forschungsstation . 56
5.9 Der erste Arbeitsauftrag zur ersten Forschungsstation 57
5.10 Der zweite Arbeitsauftrag zur ersten Forschungsstation 58
5.11 Der letzte Tipp der gestuften Lernhilfe zur Beschriftung der Abbildung . . . 58
5.12 Der dritte Arbeitsauftrag zur ersten Forschungsstation 59
5.13 Die zweite Zusatz-Info zur ersten Forschungsstation 59
5.14 Der Einführungstext zur zweiten Forschungsstation 60
5.15 Die Versuchsanleitung und Zusatz-Info zur zweiten Forschungsstation 61
5.16 Die Tabelle zur Eintragung der Beobachtungen 61
5.17 Der Auftrag zur Erklärung der Beobachtungen 62
5.18 Der Einführungstext zur dritten Forschungsstation 63
5.19 Die Versuchsanleitung zur dritten Forschungsstation 63
5.20 Die Tabelle zur Eintragung der Temperaturwerte 64
5.21 Die Arbeitsaufträge zur dritten Forschungsstation 64
5.22 Die Zusatz-Info zur dritten Forschungsstation 64
5.23 Das erste Kärtchen der Moderation als Beispiel für ein Moderatorin- oder Moderator-Kärtchen 66
5.24 Das Kärtchen zur Spezifischen Absorptionsrate als Beispiel für eine Expertinnen- und Experten-Information 67
5.25 Der Arbeitsauftrag für die Expertinnen und Experten 69
5.26 Das Kärtchen mit der Pro- und Kontra-Liste für die Komitee-Mitglieder . . 70
5.27 Der Arbeitsauftrag für die Komitee-Mitglieder 70

5.28 Das Kärtchen zur Studie Schweden als Beispiel für ein StudienvertreterIn-Kärtchen . . . 71
5.29 Der Arbeitsauftrag für die Vertreterinnen und Vertreter der Studien 71
5.30 Der überarbeitete Einführungstext zu elektromagnetischer Strahlung 82
5.31 Die überarbeitete Versuchsanleitung der ersten Forschungsstation 83
5.32 Die Arbeitsaufträge der ersten Forschungsstation 84
5.33 Die Zusatz-Info der ersten Forschungsstation 84
5.34 Die überarbeitete Angabe und die hinzugefügten Kästchen der Zusatzaufgabe 86
5.35 Die Frage zu den beiden Werten von λ und die Zusatz-Info 86
5.36 Die Frage zu den beiden Werten von λ und die Zusatz-Info 87
5.37 Die überarbeitete Versuchsanleitung zur zweiten Forschungsstation 88
5.38 Die Fragen zu den Erklärungen des Versuchs der zweiten Forschungsstation 88
5.39 Die überarbeitete Versuchsanleitung zur dritten Forschungsstation 89
5.40 Die überareitete Tabelle der dritten Forschungsstation 90
5.41 Die einzelnen Studien und entsprechenden Fragen an die Expertinnen und Experten 90
5.42 Das erste Moderatorin- oder Moderator-Kärtchen 91
5.43 Das zweite Moderatorin- oder Moderator-Kärtchen 91
5.44 Die Expertinnen- und Experten-Info zu ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung 92
5.45 Der überarbeitete Arbeitsauftrag für die Expertinnen und Experten 92
5.46 Der überarbeitete Arbeitsauftrag für die Vertreterinnen und Vertreter der Studien 92
5.47 Das Kärtchen mit Informationen zur Studie Dänemark 93
5.48 Die überarbeitete Pro- und Kontra-Tabelle 93
5.49 Der überarbeitete Abschnitt des Einführungstextes 108
5.50 Die überarbeitete Angabe zur Formulierung von Merksätzen 109
5.51 Die überarbeitete Anleitung zum Versuch der ersten Forschungsstation . . . 109
5.52 Die überarbeitete Anleitung zum Versuch der zweiten Forschungsstation . . 111
5.53 Die überarbeitete Anleitung zum Versuch der dritten Forschungsstation . . 111
5.54 Die überarbeitete Version des Kärtchens zur Studie USA 112
5.55 Die überarbeitete Anleitung der Studienvertreterinnen und -vertreter 112
5.56 Die überarbeitete Version des Expertinnen- und Experten-Kärtchens zur Mobilfunkstrahlung 113
5.57 Die überarbeitete Anleitung der Expertinnen und Experten 113
5.58 Die überarbeitete Anleitung der Komitee-Mitglieder 113
5.59 Die überarbeiteten Aufträge der Komitee-Mitglieder 114

Tabellenverzeichnis

5.1 Der zeitliche Ablauf der Testungen des Materials der beiden Unterrichtstunden 42

KAPITEL 1

Einleitung

In unserem Alltag sind wir umgeben von unsichtbarer Strahlung, nahezu jede und jeder besitzt heutzutage ein Mobiltelefon, nutzt WLAN, wärmt Essen im Mikrowellenofen auf oder nimmt ab und zu ein „Bad in der Sonne“. Vielen Schülerinnen und Schülern fehlt jedoch das Wissen, dass es sich dabei um Formen der elektromagnetischen Strahlung handelt, was impliziert, dass eine grundlegende Behandlung dieses Themas im Schulunterricht fehlt. Trotz der aktuellen und alltäglichen Relevanz fällt erst seit den letzten Jahren Licht auf diesen Forschungsbereich, weshalb ein Mangel an Unterrichtskonzepten zur erfolgreichen Implementierung des Strahlenbegriffes in den Unterricht vorhanden ist.

Mit dieser Arbeit soll ein kleiner Schritt für die fachdidaktische Forschung im Bereich der Mikrowellenstrahlung gelegt werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird Lernmaterial für eine Unterrichtseinheit zu diesem Thema entwickelt. Die Einheit erstreckt sich über zwei Schulstunden und soll als verständliches und gut umsetzbares Unterrichtskonzept mit hoher Schülerinnen- und Schülerzentrierung in den Regelunterricht der 8. Schulstufe eingebettet werden können.
Die Basis für dieses angestrebte Ziel bilden einerseits die physikalischen Grundlagen zum gewählten Themenbereich und andererseits Konzepte, Theorien und Methoden aus der Fachdidaktik.

Die Unterrichtseinheit wurde anhand des Design-Based Research Ansatzes entwickelt. Im Prinzip handelt es sich dabei um eine Forschungsmethode, bei der die Phasen der Entwicklung, Umsetzung, Analyse und Überarbeitung in Zyklen mehrmals durchlaufen werden. Kombiniert wurde dieser Ansatz mit der Think-Aloud Methode, bei der ein Teil des Lernmaterials in einem ersten Schritt an einzelnen Schülerinnen und Schülern getestet und anschließend überarbeitet wurde. Die Unterrichtseinheit wurde ebenfalls in der Schule erprobt und anhand der gewonnenen Erkenntnisse überarbeitet.
Diese Diplomarbeit gewährt Einblick in die verschiedenen Stadien des entwickelten Materials, sowie in deren Evaluations- und Überarbeitungsprozess. Dabei werden die Maßnahmen zur Weiterentwicklung eingehend beschrieben und begründet.

In Kapitel 2 wird Mikrowellenstrahlung aus physikalischer Sicht behandelt und deren Eigenschaften und Anwendungsgebiete erläutert. Dieses Kapitel soll der fachlichen Klärung dienen und Lehrpersonen als Vorbereitung für den Einsatz der Lernmaterialien in den Unterricht zugute kommen.

Die Grundlagen zu Methoden und Theorien aus der Fachdidaktik Physik finden sich in Kapitel 3. Unter anderem wird Bezug auf Schülervorstellungen aus dem Bereich des Strahlenunterrichts genommen und gestufte Lernhilfen vorgestellt.

Die zum Einsatz kommenden Forschungsmethoden werden in Kapitel 4 erläutert. Design-Based Research, die Think-Aloud Methode und die Methode zur Auswertung der Daten werden in diesem Kapitel vorgestellt und deren Einsatz begründet.

In Kapitel 5, dem Herzstück der Arbeit, wird die Erstellung des Unterrichtsmaterials behandelt. Dabei wird zuerst der zeitliche Ablauf besprochen und anschließend die angefertigte didaktische Analyse präsentiert. Danach wird das Ausgangsmaterial vorgestellt, welches einerseits durch die Methode des Think-Alouds und andererseits durch die Durchführung in Schulklassen getestet wurde. Anhand der Ergebnisse aus den Testungen wurde das Material überarbeitet.

In der Diskussion, dem Kapitel 6, wird auf die Ergebnisse der Arbeit eingegangen und ein Ausblick auf mögliche weitere Forschung in diesem Gebiet geliefert.

Alle Versionen des Materials der Unterrichtseinheit sind im Anhang (Kapitel 7) angeführt. Ebenfalls ersichtlich sind dort die Endversion des Unterrichtsmaterials samt gestufter Lernhilfen, die Kurzanleitung für Lehrpersonen und die Transkripte der beiden Think-Alouds.

KAPITEL 2

Mikrowellenstrahlung

In diesem Kapitel werden die physikalischen Grundlagen bezüglich Mikrowellenstrahlung behandelt. Ein kurzer Überblick über die verschiedenen Arten der elektromagnetischen Strahlung mündet in die genauere Erklärung der Eigenschaften, Effekte und Anwendungsgebiete der Mikrowellenstrahlung. Ferner wird auf Mobilfunkstrahlung und deren Auswirkungen auf den Menschen eingegangen. In diesem Zusammenhang werden Konzepte rund um diesen Teilbereich der Mikrowellenstrahlung angeführt. Zuletzt wird Bezug auf aktuelle wissenschaftliche Studien zum Thema „Gefahren und Nutzen von Mobilfunkstrahlung“ genommen. Dieses Kapitel behandelt die grundlegenden Themen, die im Zuge der Unterrichtseinheit behandelt werden und soll Lehrpersonen als unterstützende Vorbereitung für den Unterricht zu Mikrowellenstrahlung dienen.

2.1 Einordnung im Spektrum

Elektromagnetische Wellen treten in Form von Radiowellen, Mikrowellen, Infrarotstrahlung, Licht, UV-Strahlung, Röntgenstrahlung oder auch Gammastrahlung auf. Die verschiedenen Strahlungsarten werden durch ihre Wellenlänge λ bzw. ihre Frequenz f unterschieden und entsprechend am elektromagnetischen Spektrum eingeordnet (Tipler & Mosca, 2015, S. 989). Mikrowellenstrahlung wird zwischen der Infrarotstrahlung und den Radiowellen eingeordnet (vgl. Abb. 2.1).

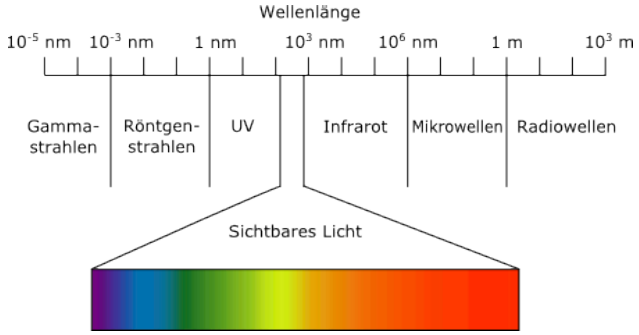


Abbildung 2.1: Das elektromagnetische Spektrum (Rodenbücher, 2018)

Die Beziehung zwischen der Wellenlänge λ, der Frequenz f und der Ausbreitungsgeschwindigkeit c der elektromagnetischen Wellen wird durch folgende Formel beschrieben:

$$f = \frac{c}{\lambda} \tag{2.1}$$

Alle Formen der elektromagnetischen Strahlung breiten sich im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit aus. Der Wellenlängenbereich von Mikrowellen variiert je nach Anwendungsgebiet und liegt dabei zwischen 1 mm und 1 m (Kogan, 1966, S. 82). Der Frequenzbereich von Mikrowellen liegt zwischen 300 MHz und 300 GHz.

2.2 Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten

2.2.1 Mikrowellenstrahlung

Mikrowellenstrahlung ist Teil der nicht-ionisierenden Strahlungsarten und besitzt dadurch nicht genug Energie, um Moleküle oder Atome zu ionisieren. Ionen oder freie Radikale sind dazu fähig die DNA biologischer Zellen anzugreifen oder zu beschädigen, was ein Grund für die Entstehung von, beispielsweise, Gehirntumoren sein kann (Plotz, 2016, S.37).
Mikrowellenstrahlung kann biologisches Gewebe, durch Eindringen ins Gewebe und Energietransfer zu den Molekülen, erhitzen. Üblicherweise beginnen dabei die Wassermoleküle im elektrischen Feld zu rotieren, was zu einer Erhöhung der kinetischen Energie und, demzufolge, der Temperatur führt. Durch diese Eigenschaften können Speisen im Mikrowellenofen erwärmt werden. Angewandt auf eine Person, kann es zu Verbrennungen oder Blutungen kommen, die direkt auf die Hitzezufuhr, oder indirekt auf dadurch hervorgerufene Schädigungen zurückzuführen sind (Plotz, 2017a, S. 210).
In der Astronomie und Astrophysik wird die Mikrowellenstrahlung entfernter Himmelsobjekte untersucht (Klinger, 1966, S. 16). Als kosmische (Mikrowellen-)Hintergrundstrahlung ist sie zudem die älteste Strahlung im Universum (S. de Boer, 2007).
Mikrowellen, deren Wellenlänge länger als die des sichtbaren Lichts (und der unsichtbaren Infrarotwellen) und kürzer als die der Radiowellen sind (vgl. Abb. 2.1), spielen eine immer größer werdende Rolle in der modernen Kommunikation. Mikrowellen sind zwar viel schwieriger herzustellen und zu empfangen als Radiowellen, doch sie stellen einen viel größeren „Frequenzraum“ dar, von 300 MHz bis 300 GHz. Es gibt eine bestimmte Anzahl von Frequenzbändern und der „Wellenraum“ für niedrigere Frequenzen ist durch Fernsehprogramme besonders voll (Kogan, 1966, S. 68f). Die Verwendung hoher Frequenzen bringt viele Vorteile mit sich, denn während im Frequenzbereich von 10 bis 100 MHz rund achtzehn 5 MHz breite Fernsehbänder Platz hätten, sind es zwischen 10.000 und 100.000 MHz schon um die 18.000 (ebd.).
Die Erstellung von Frequenzplänen, auf denen genau verzeichnet ist, welche Kanäle für wen

und für welchen Zweck genutzt werden, war notwendig, um Ordnung schaffen zu können. Diese Frequenznutzungspläne wurden in den letzten Jahrzehnten vielfach überarbeitet und an neue Technologien angepasst (Tipler & Mosca, 2015, S. 997).
In einem aktuellen Artikel informiert Blievernicht (2017) über die neue große Herausforderung für die Mobilfunkbetreiber, der intensiven Nutzung entsprechend ausreichend Netzkapazität anzubieten. Durch die Masse an sich im Umlauf befindlichen *Smartphones* und des damit einhergehenden Nutzungsverhaltens, immer online zu sein und – insbesondere bei großen Veranstaltungen – Videos oder Fotos auf den sozialen Netzwerken zu *posten*, explodierte die Datennutzung regelrecht. Durch den vermehrten Einsatz von Mehrstrahlantennen und der damit einhergehenden verstärkten Netzwerkkapazität konnte diese Herausforderung in den letzten Jahren gemeistert werden (Blievernicht, 2017, S. 52).
In einer Studie von Zhi et al. (2017), die Ergebnisse aktueller Studien durchleuchtete, werden einige positive Effekte von Mikrowellenstrahlung auf den Menschen angeführt. Die kurzzeitige Einwirkung von Mikrowellenstrahlung auf das Gehirn kann kognitive Funktionen, die Aufmerksamkeit und die Kapazität des Kurzzeit-Gedächtnisses verbessern. Das Risiko an Alzheimer zu erkranken ist bei Langzeit-Mobilfunk-Nutzern – Nutzung des Mobiltelefons länger als 10 Jahre – um 30-40 % niedriger als bei anderen Personen (Zhi, Wang & Hu, 2017, S.3).
Neben der Optik und den Eigenschaften der Lichtwellen bei Interaktion mit Materie können mit Mikrowellen durch deren Wesensgleichheiten im Unterricht eindrucksvolle Effekte erzielt werden (Klinger, 1966, S. 16). Die für das sichtbare Licht geltenden allgemeinen Gesetze der geometrischen Optik und Wellenoptik gelten weitestgehend auch für alle anderen Wellen des elektromagnetischen Spektrums (Stuart & Klages, 2010, S. 244). Es hängt von der Wellenlänge der jeweiligen Strahlungsart und der Materie selbst ab, inwieweit elektromagnetische Wellen mit der Materie in Wechselwirkung treten (Tipler & Mosca, 2015, S. 990). Treffen Mikrowellen auf Materialien, können unterschiedliche Wechselwirkungen erfolgen: Strahlung kann anteilig reflektiert, transmittiert oder absorbiert werden (PHYWE, 2017).
Die Frequenzen von Mikrowellen liegen nahe der natürlichen Eigenfrequenz von Wassermolekülen in Festkörpern und Flüssigkeiten. Mikrowellen können von den sich in der Nahrung befindlichen Wassermolekülen gut absorbiert werden. Dieser Prozess wird zur Erwärmung von Speisen im Mikrowellenofen genutzt. Die Wassermoleküle werden zu schnellen Rotationen angeregt wodurch Wärme entsteht (Tipler, 1994, S. 1008).
Die Frequenz, die in Mikrowellenöfen verwendet wird, beträgt 2,45 GHz. Die Mikrowellen erhitzen das Wasser im gesamten Lebensmittel gleichzeitig und besitzen eine Wellenlänge von ca. 12 cm (Berger, 2002, S. 11). Die Strahlungsenergie wird dabei in Wärmeenergie umgewandelt.
Die Reflexion von elektromagnetischen Wellen wird durch das Reflexionsgesetz beschrieben. Dabei gilt, dass der Einfallswinkel α gleich dem Ausfallswinkel β ist (Tipler, 1994, S. 1030). Trifft Mikrowellenstrahlung auf Materialien aus Metall wird der Großteil der Strahlung reflektiert und ein kleiner Teil absorbiert. Die Mikrowellen werden nie vollständig reflek-

tiert, sie dringen in eine mehr oder weniger dünne Schicht des Metalls ein und das Metall erwärmt sich. Die jeweilige Tiefe des Eindringens wird auch „Skintiefe“ genannt. Wenn es sich um größere Metallobjekte handelt, verteilt sich die Wärmeenergie recht schnell und es kommt zu einer minimalen Temperaturerhöhung. Falls es sich jedoch um dünne Metallschichten handelt, erfolgt eine rasche Temperaturerhöhung. Verwendet man einen Teller mit Goldrand im Mikrowellenofen, kann es auf Grund der hohen Spannungen zu einem Ladungsausgleich in Form von kleinen Blitzen kommen (Berger, 2002, S. 13f).

Die Transmission von Mikrowellen ist abhängig vom jeweiligen Material. Mikrowellenstrahlung wird beim Auftreffen auf Materialien wie Holz, Kunststoff, Glas oder Keramik transmittiert.

2.2.2 Mobilfunkstrahlung

„*Keine andere Umwelteinwirkung ist so stark in der öffentlichen Diskussion wie die des öffentlichen Mobilfunks*“ (Bernhardt, 2005, S. 70). Dieses Zitat von Bernhard (2005) trifft ins Schwarze, denn seit 1992, dem Jahr der Einführung der digitalen Mobilfunknetze, kann hier von einem Wachstumsmarkt gesprochen werden. Nun liegt dieser Artikel schon 13 Jahre zurück und die Zeit ist nicht still gestanden. Die Mobilfunkindustrie wächst und jedes Jahr kommen unzählige neue Technologien auf den Markt.

2.2.2.1 Mobilfunknetz

Als Basis für die Mobiltelefonie dient die Übertragung von Mikrowellenstrahlung zwischen dem portablen Gerät und den Basisstationen, die über das ganze Land verteilt sind (Karger, 2005, S.74).

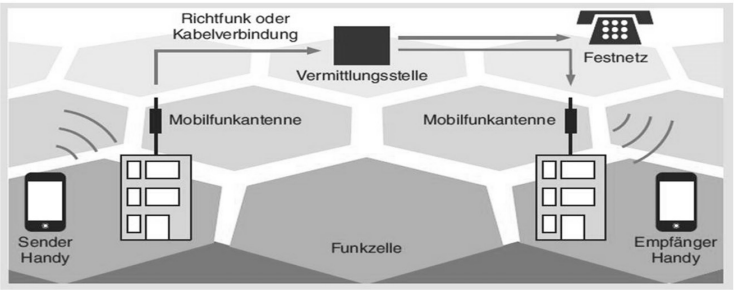


Abbildung 2.2: Das Mobilfunknetz (Bauknecht, 2015)

Unterschiedliche (Funk-)Zellen sind über die jeweiligen Basisstationen (Mobilfunkantennen) mit der Vermittlungsstelle verbunden (vgl. Abb. 2.2). Von dem Handy, welches einen Anruf tätigt, wird zuerst ein Signal an die jeweilige Mobilfunkantenne gesendet. An welche Basisstation das Signal gesendet wird hängt davon ab, in welcher Funkzelle sich der Anrufer befindet. Anschließend wird dieses Signal über die Vermittlungsstelle zu der Mobilfunkantenne geleitet, die sich in der Funkzelle desjenigen befindet, der angerufen wird.

Diese Basisstation leitet das Signal weiter und der Anruf kommt bei dem entsprechenden Handy an (Bauknecht, 2015, S. 30).

Obwohl die Basisstationen tendenziell höhere Leistungen (weniger als 20 W pro Kanal) zur Übertragung als die tragbaren Geräte aufbringen, ist die von den Basisstationen ausgehende Belastung laut Karger (2005) für die Nutzerin und den Nutzer weit aus geringer, da sich die Nutzerin und der Nutzer viel weiter entfernt von der Basisstation befindet. Trotzdem sind die Basisstationen in der Öffentlichkeit ein brisantes Thema, sei es wegen ihrer optischen Präsenz oder wegen der Angst und Unwissenheit der Strahlungsbelastung (Karger, 2005, S.75).

2.2.2.2 Strahlungsintensität

Die Strahlungsintensität von Mobiltelefonen wird erhöht, wenn bei schlechtem Empfang telefoniert wird, oder wenn ein Anruf getätigt bzw. angenommen wird. Die Intensität der Strahlung des Handys wird bei schlechtem Empfang gesteigert, um Kontakt zur Basisstation herstellen zu können. Die Strahlungsintensität des Mobiltelefons erreicht dabei ein Maximum. Bei Rufaufbau oder –eingang wird die Intensität der Strahlung des Handys ebenso gesteigert, da Kontakt zur Basisstation hergestellt wird, um den Anruf weiterleiten zu können (Bauknecht, 2015, S. 28ff).

Bauknecht (2015) hat für die Messung der Strahlungsintensität mit einem Nachweisgerät gearbeitet, welches zehn verschiedene Messbereiche durch Leuchten von Lämpchen unterscheidet. Das Gerät dient der Messung hochfrequenter elektromagnetischer Felder im Frequenzbereich von 800 MHz bis 3,5 GHz.

Bauknecht (2015) merkt an, dass dadurch keine exakten Messwerte möglich sind, durch die Leuchtcharakteristiken der Lämpchen die Intensität der Strahlung jedoch sehr wohl abgeschätzt werden kann. Es wurden Versuche zum Empfang und Rufaufbau durchgeführt, wobei einerseits auf die „Empfangsbalken“ beim Mobiltelefon und andererseits auf die leuchtenden Lämpchen des Nachweisgerätes geachtet wurden. Die Ergebnisse zeigten, dass bei nur einem von fünf möglichen „Empfangsbalken“, ohne ausgehenden Anruf, ein Lämpchen (0,09 $\mu W/m^2$) leuchtet. Sobald ein Anruf getätigt wird, leuchten 8 Lämpchen (6,3 mW/m^2). Bei vollem Empfang und ohne Anruf leuchten am Nachweisgerät vier Lämpchen (11 $\mu W/m^2$) und bei ausgehendem Anruf fünf (52 $\mu W/m^2$) (ebd., S. 30f).

Durch die erhöhte Strahlung, die vom Mobiltelefon ausgeht, wird das umliegende Gewebe stärker erwärmt. Einige Maßnahmen, die man treffen kann, um die Strahlungsintensität auf den Kopf/Körper zu verringern wären, zum Beispiel, bei gutem Empfang telefonieren, erst bei Gesprächsannahme das Handy zum Ohr halten oder mit Headset zu telefonieren (ebd.).

2.2.2.3 Spezifische Absorptionsrate

Die Spezifische Absorptionsrate (SAR) ist definiert durch die absorbierte Leistung pro Masseneinheit und wird üblicherweise in der Maßeinheit Watt pro Kilogramm (W/kg) angegeben. Die SAR kann als Maß dafür angesehen werden, wie hoch der Anteil der absorbierten Strahlung im menschlichen Körper bei Nutzung eines Mobiltelefons ist (Plotz, 2017a, S. 210).

Zahlreiche Mobilfunkhersteller geben bei den unterschiedlichen Modellen der Handys den SAR-Wert an. Je höher der Wert ist, desto stärker wird das umliegende Gewebe durch die Strahlung des Mobiltelefons erwärmt. Die ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) empfiehlt die Einhaltung von Grenzwerten, um thermische Effekte im Menschen zu vermeiden (Karger, 2005, S.75). Bei modernen Geräten liegt der SAR-Wert ungefähr zwischen 0,2 und 1,9 W/kg. Der empfohlene oberste und europaweit gültige Grenzwert der Weltgesundheitsorganisation liegt bei 2,0 W/kg (Krutzler, Petti, Valda & Plotz, 2016, S.33).

Unter diesen Bedingungen – SAR-Wert unter 2,0 W/kg – untersuchte man den maximalen Temperaturanstieg im Bereich des Gehirns, während des Telefonierens mit einem Handy. Durch den minimalen und dadurch physiologisch irrelevanten Anstieg der Temperatur von unter 0,1 $°C$ wurde beschlossen, dass eine mögliche dauerhafte Schädigung des menschlichen Organismus durch thermische Effekte äußerst unwahrscheinlich ist (Karger, 2005, S.75).

2.3 Zusammenhang von Mobilfunkstrahlung und Krebs

Da sich die Mobilfunkindustrie im letzten Jahrzehnt so rasant entwickelt hat und es in absehbarer Zeit keinen Halt vor neuer Handytechnologie gibt, steigt die Besorgnis in der Bevölkerung vor möglichen assoziierten Gesundheitsschädigungen auf Grund der Mobilfunkstrahlung (Karger, 2005, S.73). Der Stand der Forschung diesbezüglich ist kontrovers, einerseits wird kein Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und Krebs belegt, andererseits wird dieser Beweis widerlegt.

Im Folgenden wird kurz angeführt, welche Art der Krebserkrankung in Assoziation mit Mobilfunkstrahlung im Zentrum der Forschung gestanden hat und steht. Weiters wird auf mögliche Ursachen für die Entstehung von Krebs eingegangen und diesbezüglich die Rolle der Mobilfunkstrahlung beleuchtet. Anschließend wird der aktuelle Forschungsstand über den Zusammenhang von Mobilfunkstrahlung und Krebs durch fünf aktuelle Studien vorgestellt.

2.3.1 Krebserkrankung

2.3.1.1 Gliome

Gliom ist die Bezeichnung für eine bestimmte Art von Krebs, genauer gesagt Tumore, die sich vermehrt im Gehirn oder Rückenmark bilden. Gliome machen um die 30% aller Gehirntumore aus und sind in 80% der Fälle bösartig. Aus medizinischer Sicht ist es nach wie vor unklar, wodurch Gliome entstehen, jedoch können etwa 5% der Gliomfälle auf genetische Ursachen zurückgeführt werden (Plotz, 2016, S. 37).
Laut den Daten einer amerikanischen Studie erkranken rund drei bis fünf Menschen aus 100.000 Personen an einem Gliom, abhängig von Ort, Herkunft und Alter (Hess, Broglio & Bondy, 2004, S. 2296f). Eine Verdoppelung des Risikos würde bedeuten, dass statt 3 bis 5, um die 6 bis 10 Personen aus 100.000 an Gliomen erkranken würden (Plotz, 2017a, S. 210f).

2.3.1.2 Karzinogene

Unter dem Überbegriff der Karzinogene werden gewisse Arten von Strahlung, Substanzen oder Stoffe, die zu Krebs führen können, zusammengefasst (The American Cancer Society medical and editorial content team, 2016). Manche dieser Karzinogene verändern die DNA direkt, wodurch die Erkrankung gesunder Zellen durch Krebs verursacht wird. Andere Arten von Karzinogenen beeinflussen die DNA zwar nicht in dieser direkten Form, führen jedoch auf anderen Wegen zu Krebs (ebd.).
Anzumerken ist laut *American Cancer Society* (2016), dass man nicht mit Sicherheit sagen kann, dass gewisse Karzinogene in jedem Fall zu Krebserkrankungen führen. Generell ist festzuhalten, dass das Risiko an Krebs zu erkranken von verschiedenen Faktoren abhängt und die Ursache für eine Erkrankung nicht immer eindeutig zuzuordnen ist.

Internationale Agentur für Krebsforschung – IARC
Die Internationale Agentur für Krebsforschung, auch IARC genannt (*International Agency for Research on Cancer*), ist Teil der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Die IARC hat es sich zur Aufgabe gemacht, mögliche Ursachen für die Entstehung von Krebs zu erforschen und ihre Ergebnisse für das Volk zugänglich zu machen. Durch intensive Forschung in den letzten 45 Jahren wurden mehr als 1000 mögliche Karzinogene evaluiert und in folgende fünf Gruppen eingeteilt (International Agency for Research on Cancer, 2018a):

- Gruppe 1: Krebserregend für den Menschen
- Gruppe 2A: Wahrscheinlich krebserregend für den Menschen
- Gruppe 2B: Möglicherweise krebserregend für den Menschen
- Gruppe 3: Nicht als krebserregend für den Mensch klassifizierbar
- Gruppe 4: Wahrscheinlich nicht krebserregend für den Menschen

Liste der Karzinogene

Die *American Cancer Society* (2015), kurz ACS, hat anhand der *list of classifications* der IARC (International Agency for Research on Cancer, 2018b) eine Liste der, den fünf Gruppen zugehörigen, Karzinogene erstellt.

Bekannte krebserregende Substanzen wie Asbest und Arsen, ionisierende Strahlung und der Konsum von Tabak gehören, ebenso wie der Verzehr von verarbeitetem Fleisch und der Konsum von alkoholischen Getränken, zur Gruppe 1 (The American Cancer Society medical and editorial content team, 2016). Beispiele für Karzinogene der Gruppe 2A sind der Verzehr von rotem Fleisch oder die Infektion mit HPV oder Malaria (ebd.).

Mobilfunkstrahlung wird laut IARC der Gruppe 2B zugeordnet und das bedeutet, wie zuvor angeführt, dass diese Strahlungsart möglicherweise krebserregend für den Menschen ist (International Agency for Research on Cancer, 2018b, S.30).

2.3.2 Aktueller Forschungsstand

Tatsache ist, dass durch die Mobilfunkstrahlung aus biologischer Sicht Effekte auftreten, die den menschlichen Organismus beeinflussen, aber keine direkte Gefahr für den Menschen darstellen (Karger, 2005, S.73). Durch den aktuell limitierten Forschungsstand wird ein erhöhtes Gesundheitsrisiko generell nicht ausgeschlossen. Karger (2005) führt zudem an, dass jegliche negativen Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen sehr schwer zu erforschen und noch schwieriger zu beweisen sind.

Im Folgenden werden fünf aktuelle wissenschaftliche Studien vorgestellt, die den Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen, und der damit einhergehenden emittierten Mobilfunkstrahlung, und der Erkrankung an Hirntumoren, im Speziellen Gliomen, erforscht haben.

Fall-Kontroll Studien:

Fall-Kontroll Studien untersuchen ihr Vorhaben durch den Vergleich zweier Gruppen. In den folgenden beiden Fällen wurden eine Gruppe Patienten mit Gehirntumor (Gliom) und eine ähnliche Bevölkerungsgruppe ohne Gliom herangezogen. Dabei wurden durch Fragebögen oder in Form von Interviews Unterschiede bezüglich der Mobiltelefonie-Nutzung untersucht (Plotz, 2017a, S. 210).

INTERPHONE

In 13 Ländern wurden die Krankheitsfälle von Gliom-Patientinnen und -Patienten untersucht und in Zusammenhang mit den medizinischen Daten einer Kontrollgruppe gebracht, die der Patientinnen- und Patientengruppe bezüglich der demographischen Ausprägung entsprach (Plotz, 2016, S. 38) . Die INTERPHONE Studie startete im Jahr 2000 und es

nahmen über 5.100 Patientinnen und Patienten, die an Gehirntumoren erkrankt waren, teil (The INTERPHONE Study Group, 2010, S. 675f).
Das Ergebnis der Studie deutet darauf hin, dass kein Zusammenhang zwischen der Erkrankung an Hirntumor (Gliom) und der Nutzung von Mobiltelefonen besteht (Plotz, 2016, S. 38). Die Nutzung von Mobiltelefonen bei höchster Strahlungsintensität wies jedoch auf die Möglichkeit eines erhöhten Risikos für die Erkrankung an Hirntumoren hin (The INTERPHONE Study Group, 2010, S. 675).

Schweden – Hardell & Carlberg (2014)
Im Zeitraum von 1997 bis 2003 und von 2007 bis 2009 wurden knapp 1.500 Fälle von Gliom-Patientinnen und -Patienten beobachtet. Die Dauer der Studie war notwendig, um genug Fälle zu erhalten. Eine Vergleichsgruppe von gesunden Patientinnen und Patienten, die der Patientinnen- und Patientengruppe von demographischen Aspekten her ähnelt, diente als Kontrollgruppe. In Form von Fragebögen wurde das Telefonierverhalten der Teilnehmerinnen und Teilnehmer evaluiert und Risiken abgefragt. Fragen waren zum Beispiel, seit wann mit dem Handy bzw. Schnurlostelefon telefoniert wird und wie viele Minuten pro Tag. Gab es Unklarheiten bei den Antworten, wurden zusätzlich zum Fragebogen noch Interviews via Telefon geführt (Plotz, 2016, S. 38).
Die Ergebnisse von Hardell und Carlberg (2014) deuten darauf hin, dass sich durch die Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko an Gliomen zu erkranken verdoppelt. Das größte Risiko fand man dabei für Gliome im Temporallappen des Gehirns (Hardell & Carlberg, 2015, S. 1).

Kohortenstudien:

Kohortenstudien vergleichen Gruppen von Menschen, die Mobiltelefone nutzen, mit ähnlichen Bevölkerungsgruppen, die keine Handys verwenden. In beiden Gruppen werden anschließend die Fälle von Gehirntumoren (Gliomen) untersucht (Plotz, 2017a, S. 210).

UK – Benson et al. (2013)
Für diese Studie wurden die Daten der *Million-Women-Study* herangezogen, eine Studie zur Gesundheit von Frauen, die zwischen 1991 und 2001 durchgeführt wurde (Plotz, 2016, S. 38). Die Studie von Benson et al. (2013) ging insgesamt über einen Zeitraum von 7 Jahren (1999 bis 2005) und es wurden rund 800.000 Teilnehmerinnen beobachtet. Es fand eine Analyse der Daten statt, mit Hauptaugenmerk auf den Gebrauch von Mobiltelefonen. Die Teilnehmerinnen beantworteten unter anderem Fragen zur Häufigkeit der Verwendung und der Dauer des Handybesitzes. Mögliche Antworten waren „nie, weniger als täglich und täglich“, die Besitzdauer wurde in Jahren abgefragt (Plotz, 2016, S. 38).
Benson et.al. (2013) brachten diese Ergebnisse anschließend in Zusammenhang zum gesundheitlichen Wohlbefinden der Probandinnen und die Untersuchungen ergaben dabei keine Parallelen zwischen den Gliom-Fällen und der Nutzung von Mobiltelefonen der Frauen.

Dänemark – Frei et al. (2011)
Zwischen 1987 und 1995 wurden in Dänemark die Daten aller Mobilfunknutzerinnen und -nutzer erhoben. Bis 2007 wurden diese Personen medizinisch verfolgt und auf Krebserkrankungen getestet. Eine Vergleichsgruppe von Patientinnen und Patienten, die in dem Zeitraum von 1987 bis 1995 kein Mobiltelefon besaßen bzw. benutzten, galt als Kontrollgruppe (Plotz, 2016, S. 38).
Anhand der ausgewerteten Daten kann kein signifikanter Unterschied zwischen den Gliomerkrankungen der Handynutzerinnen und -nutzer und den Krankheitsfällen der Kontrollgruppe bestätigt werden. Somit stießen Frei et al. (2011) auf kein erhöhtes Risiko für die Erkrankung an Gliomen durch die Verwendung von Mobiltelefonen. Anzumerken ist, dass die Leistung der emittierten Strahlung von älteren Modellen der Mobilfunkindustrie weit höher war als jene heutiger Handys.

Längsschnittstudien:

Längsschnittstudien führen Beobachtungen über einen längeren Zeitraum, das heißt mehr als 10 Jahre, durch (Plotz, 2016, S. 38).

USA – Little et al. (2012)
Im Fall Little et al. (2012) wurden zwischen 1992 und 2008 die Daten von etwa 25.000 US-Bürgerinnen und -Bürgern gesammelt und ausgewertet. In die Untersuchung wurden verschiedene Faktoren miteinbezogen, im Großen und Ganzen wurde die Zahl der Gliom-Fälle in den USA beobachtet und mit Prognosen verglichen.
Little et al. (2012) zogen die Werte der schwedischen Studie heran und untersuchten, ob die getroffenen Voraussagen tatsächlich eintreffen würden. Hierfür wurde die aktuelle Zahl an Gliom-Erkrankten in den USA mit den vorhergesagten Fällen an Patientinnen und Patienten in Vergleich gebracht. Ihre Untersuchungen ergaben einen signifikanten Unterschied zwischen den vorhergesagten und dokumentierten Fällen. Demzufolge sei kein Zusammenhang zwischen Gliomen und Mobiltelefon-Nutzung zu erkennen (Little et al., 2012, S. 1).

Die unterschiedlichen Ergebnisse der Studien stechen durch ihre Gegensätzlichkeit hervor. Einerseits gibt es jene, die die Aussage, dass Mobilfunkstrahlung das Risiko von Gehirntumor oder sonstiger Form von Krebs erhöht, stützen und andererseits jene, die diese Theorie widerlegen. Diese Ergebnisse unterstreichen die Tatsache, dass es seitens der Wissenschaft und Forschung noch keine finale Antwort auf die Frage, ob Mobilfunkstrahlung Gliome auslöst, gibt.

KAPITEL 3

Physikdidaktik

Dieses Kapitel behandelt Methoden und Theorien der Physikdidaktik. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion, sowie der Ansatz der Didaktischen Analyse, anhand dessen die Planung der Unterrichtseinheit erfolgte, werden in einem ersten Schritt vorgestellt. Weiters wird auf die in der Fachdidaktik wesentlichen Schülervorstellungen eingegangen, welche unter anderem als Grundlage für die Planung von Unterricht dienen. In diesem Zusammenhang werden Modelle bezüglich des Umgangs mit Schülervorstellungen im Unterricht beleuchtet. Abschließend werden gestufte Lernhilfen als methodisch didaktische Hilfe vorgestellt.

3.1 Didaktische Rekonstruktion

Die Didaktische Rekonstruktion ist ein fachdidaktisches Modell, das ähnliche Muster wie die *Knowledge in Pieces*-Methode aus 3.2.1 aufweist. Unter anderem werden im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion Schülervorstellungen erforscht und nach einem speziellen Untersuchungsmodell in die Planung von Unterricht miteinbezogen (Baalmann, Frerichs, Weitzel, Gropengießer & Kattmann, 2004, S. 9). Es geht bei dem Modell primär um die Frage, wie gewisse Themen im naturwissenschaftlichen Unterricht sinnvoll und wirksam aufbereitet werden können. Dabei sind drei Bereiche zu berücksichtigen (ebd.):

1. das Erfassen von Schülervorstellungen
2. die Fachliche Klärung
3. die Didaktische Strukturierung

Die Schülervorstellungen werden in der Didaktischen Rekonstruktion nicht als Lernhindernis, sondern als persönliches Gedankengut gesehen, welches den Schülerinnen und Schülern schlüssige und überzeugende Erklärungen liefert (Reinfried, Mathis & Kattmann, 2009, S. 405). Das impliziert, dass deren Kenntnis und Erforschung ein wesentlicher Bestandteil des Modells sind. Die Schülerperspektiven stehen in systematischer Beziehung zu den fachlich

geklärten Vorstellungen und laut Reinfried et al. (2009) bedürfen beide einer gleichwertigen Behandlung. Es ist zu betonen, dass die Schülervorstellungen bei dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion keinesfalls durch die fachlich korrekten Vorstellungen ersetzt werden sollen. Vielmehr sollen sie durch Modifizierung, Bereicherung und Differenzierung in den Lernprozess der Schülerinnen und Schüler miteinbezogen werden und zu einer Veränderung ihrer Ansichten führen (ebd.). Unter Didaktischer Strukturierung verstehen Reinfried et al. (2009) die Erstellung eines Unterrichtskonzepts, bei dem die Beziehung zwischen den Schülerperspektiven und den fachlichen Inhalten im Fokus liegt. Es herrscht eine stetige Interdependenz didaktischer und fachlicher Aspekte (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997, S. 5).

> „*Ein didaktisch rekonstruierter Unterrichtsinhalt unterscheidet sich folglich deutlich von dem entsprechenden wissenschaftlichen Inhalt, weil versucht wird, die Vermittlung von Wissensbeständen und die damit verbundenen pädagogischen Aspekte in ein Gleichgewicht zu bringen.*“ (Reinfried et al., 2009, S. 407)

Die drei Säulen der Didaktischen Rekonstruktion befinden sich in einem wechselseitigen Verhältnis und es bedarf einer ständigen Anpassung der Erkenntnisse aus den Teilbereichen.

3.1.1 Didaktische Analyse

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion entspringt zum Teil aus Klafkis Ansatz der Didaktischen Analyse. Dabei wird ausgehend von elementaren Grundideen bzw. -fragen der fachliche Inhalt mit der didaktischen Perspektive verknüpft analysiert (Reinfried et al., 2009, S. 406). Der Herstellung von Bezügen zur Lebenswelt wird dabei ebenso viel Wert beigemessen wie den didaktischen Absichten oder den Schülerperspektiven zum jeweiligen Bildungsinhalt (ebd.). Die Didaktische Analyse dient der Bestimmung des Bildungsgehaltes des geplanten Unterrichtsinhaltes (Klafki, 1962, S. 15). Klafki schreibt 1962, dass zuerst die Didaktische Analyse erfolgen muss, bevor Überlegungen zur Methodik – dem „Wie“ des Unterrichtens – getroffen werden können. Es geht dabei um die Frage, wie man den Schülerinnen und Schülern die durch die didaktische Analyse gewonnenen Erkenntnisse erfolgreich vermittelt kann.

In Kapitel 5.1 wird eine abgewandelte Form von Klafki's ursprünglichem Modell der Didaktischen Analyse angeführt, die ihm Rahmen der geplanten Unterrichtseinheit zum Thema „Mikrowellenstrahlung“ entwickelt wurde.

3.2 Schülervorstellungen

Die Schülerperspektive spielt seit den 70er Jahren eine wichtige Rolle in der fachdidaktischen Forschung. Im Zentrum stehen dabei die Vorerfahrungen der Schülerinnen und

Schüler und die Erforschung von Haltungen, Einstellungen und, insbesondere, kognitiven Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler (Neumann & Hopf, 2011, S. 158). Als Oberbegriff dafür wurde in der deutschsprachigen Literatur mehrheitlich die Bezeichnung „Schülervorstellungen“ verwendet (ebd.).
Aus etlichen Forschungsergebnissen resultiert die Erkenntnis, dass Schülerinnen und Schüler sich durch ihr Vorwissen und ihre persönlichen Überzeugungen physikalische Phänomene erklären und Konzepte aneignen (Duit & Treagust, 2003, S. 671). Doch die fest verankerten Vorstellungen und Ideen entsprechen oftmals nicht wissenschaftlichen Fakten und Ansichten, sondern stehen teilweise sogar im völligen Widerspruch dazu (Duit & Treagust, 2003, S. 671). Über die Entwicklung der Forschung zu Schülervorstellungen schreiben Duit und Treagus (2003):

> „*[...] there are still a remarkable number of studies on students' learning in science that primarily investigate such students' conceptions at the content level. Since the middle of the 1980s investigations of students' conceptions at meta-levels, namely conceptions of the nature of science and views of learning (i.e., meta-cognitive conceptions) also have been given considerable attention.*“ (S. 671)

Den Schülervorstellungen wird in der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik ein hoher Stellenwert beigemessen, so wie sie gleichsam bedeutend für die Unterrichtspraxis sind.
Die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler ändern sich durch Lernprozesse, da es im naturwissenschaftlichen Unterricht zu einer Konfrontation ihrer Präkonzepte mit wissenschaftlichen Vorstellungen kommt (Baalmann et al., 2004, S. 8).

Um die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler optimieren zu können, müssen die schon vorhandenen kognitiven Strukturen der Schülerinnen und Schüler bei der Wissensgenerierung berücksichtigt werden. Dafür ist es unabdingbar Kenntnis über diese Vorstellungen zu erlangen, denn nur so kann die Lehrperson das Lernangebot entgegen der teils inkorrekten Schülervorstellungen konstruieren, um einen erfolgreichen Konzeptwechsel zu instruieren (Neumann & Hopf, 2011, S. 158). Durch die fachdidaktische Forschung im Bereich der Schülervorstellungen ist man überzeugt, dass die Kenntnis von Schülervorstellungen essentiell ist, um Lernschwierigkeiten verstehen und dementsprechende Maßnahmen treffen zu können (Jung, 1986, S. 15).

3.2.1 Conceptual Change

In dem Punkt, dass die Berücksichtigung von Schülervorstellungen für die Planung von Unterricht maßgeblich ist, sind sich die Fachdidaktikerinnen und Fachdidaktiker einig. Auf welche Art und Weise ein erfolgreicher Konzeptwechsel am besten erzielt wird, ist in der fachdidaktischen Forschung eine Frage, bei der die Meinungen und Empfehlungen jedoch

auseinandergehen.

Zwei gegensätzliche Ansätze stechen dabei hervor, einerseits das von Vosniadou, Vamvakoussi und Skopeliti (2008) entworfene ***Framework Theory*** Modell und andererseits das von diSessa (2008) entwickelte Modell ***Knowledge in Pieces***.

Nach der ***Framework Theory*** von Vosniadou et al. (2008) entstehen bereits in der Kindheit Konzeptstrukturen, die tief verwurzelt sind und nur verändert werden können, wenn sie während des Lernprozesses aufgebrochen werden (Neumann & Hopf, 2011, S. 158f). Die Konzepte sind dabei in bereichsspezifische *framework theories* eingebettet. Vosniadou et al. (2008) unterscheiden vier Gebiete, die als „*framework theories*“ bezeichnet werden – Physik, Psychologie, Mathematik und Sprache (Vosniadou, Vamvakoussi & Skopeliti, 2008, S. 16). Diese Gebiete beeinflussen sich gegenseitig und ein Konzeptwechsel eines speziellen Problems innerhalb eines Bereiches erfolgt durch teilweisen Miteinbezug der anderen *framework theories*. Es entsteht ein komplexes System, welches Annahmen und Vorstellungen in theorieähnlichen Strukturen organisiert, wodurch Erklärungen und Vorhersagen getroffen werden können. Dieses komplexe System steht nicht still, es entwickelt sich ständig weiter und wird durch die Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler und deren Kultur beeinflusst (ebd., S. 22). Ein erfolgreicher Konzeptwechsel bei jungen Kindern kann einerseits durch die aktive Teilnahme an Kultur und Sprache und andererseits durch systematische Wissenschaft und Mathematik stattfinden (ebd., S. 18).Zum Beispiel werden Pflanzen von jungen Kindern meistens als etwas nicht lebendiges wahrgenommen. Durch Erfahrung mit Pflanzen, deren Bewässerung, dem Beobachten des Wachstums oder des Zerfalls, im Kontext erwachsener Kultur und Sprache, können Kinder ein Bewusstsein für Parallelen zwischen Tieren und Pflanzen erlangen. Dies kann dazu führen, dass Kinder ihre Sichtweise über Pflanzen ändern und sie als etwas lebendiges einstufen (ebd.) Vosniadou, Vamvakoussi und Skopeliti (2008) führen an, dass für einen Konzeptwechsel, neben den Schülervorstellungen, auch die Art und Technik des Lernens und Erklärens berücksichtigt werden müsse. „*[...] our approach provides a comprehensive framework within which meaningful and detailed predicitions can be made about the knowledge acquisition process.*“ (Vosniadou et al., 2008, S. 23)

Nach diSessa's Modell ***Knowledge in Pieces*** besitzen Schülerinnen und Schüler Basis-Bausteine, sogenannte *p-prims*, die je nach Bedarf zu neuen Erklärungen zusammengefügt werden. Das bedeutet, dass für einen Konzeptwechsel nicht die komplette Konzeptstruktur der Schülerinnen und Schüler aufgebrochen werden muss. Besonders hervorzuheben ist die Tatsache, dass die *p-prims* in gewissen Kontexten fachlich konsistente Erklärungen liefern, also nicht grundlegend falsch sind. Es muss eine Lernumgebung geschaffen werden, bei der die Schülerinnen und Schüler die *p-prims* im richtigen Kontext aktivieren können, wodurch wiederum Fehlvorstellungen entgegengewirkt wird (Neumann & Hopf, 2011, S. 159). Neumann und Hopf (2011) führen als Beispiel die Fehlvorstellung vieler Schülerinnen

und Schüler über die Entstehung der Jahreszeiten an. Etliche Schülerinnen und Schüler denken, der Grund für die vier Jahreszeiten sei der wechselnde Abstand von Erde und Sonne und nicht die Neigung der Erdachse. Die Schülerinnen und Schüler denken dabei an den *p-prim* „näher bedeutet stärker“, der in anderen Kontexten eine brauchbare Erklärung liefert, jedoch in diesem Zusammenhang physikalisch nicht korrekt ist (ebd.) Um solche Fälle möglichst zu vermeiden, soll laut Neumann und Hopf (2011) das Ziel jeder Lehrperson die richtige Aktivierung der Basis-Bausteine sein.

Laut Duit (2015) erfolgt die Wissensgenerierung über das bereits verfügte Wissen und dabei wird das Wissen anhand der Basis des vorhandenen Wissens selbst konstruiert. Man kann sich dabei das Aneignen von Wissen wie ein Konstrukt vorstellen, dass auf festem Fundament aufgebaut ist und das ganze Leben lang erweitert wird. Jede Person besitzt ein individuelles und persönliches Konstrukt an Wissen und ist dessen Architektin oder Architekt. In diesem Sinn wird das Konstrukt erweitert, indem an bereits vorhandene Strukturen angebaut wird. Eine fälschliche Annahme sei, dass Lernen durch einfaches Weiterreichen von Wissen erfolgt. Das heißt, dass diese neuen Strukturen nicht von jemandem übernommen werden können, sondern je nach Person anders ausschauen und eigens konstruiert werden müssen. So wie das Konstruieren eines Gebäudekomplexes Zeit, Konsequenz und Struktur erfordert, so lässt sich das auch auf den Prozess des Lernens adaptieren. Das Konstrukt wird dabei nie abgerissen, es kann im Laufe des Lebens jedoch etwaigen Umbauten unterzogen werden. So können vorhandene „Räume“ verändert oder erweitert werden.
Angewandt auf das Lernen bedeutet das, dass Fehlvorstellungen durch einen Konzeptwechsel verändert werden können und die Schülerinnen und Schüler dadurch eine neue Sichtweise erlernen können (Duit, 2015, S. 666).

Duit (2015, zitiert nach Posner et al. 1982) führt **vier Bedingungen** an, die notwendig sind um einen Konzeptwechsel zu erlangen:

1. Es müssen Situationen geschaffen werden, die durch eigene Überlegungen nicht ausreichend geklärt werden können.

2. Das neu eingeführte Konzept muss klar und verständlich aufbereitet sein.

3. Es muss in sich Sinn ergeben und eine Lösung herbeiführen, die schlüssiger ist als bisherige.

4. Diese neue Vorstellung muss in Bezug auf andere Fragestellungen zu deren erfolgreichem Ausgang führen.

Duit (2015) führt drei weitere Ansätze an, die einen Konzeptwechsel unterstützen und damit die aktive Auseinandersetzung mit dem zu Lernenden bewirken sollen.

Bei der **Theorie des Anknüpfens** geht es darum, Alltagssituationen oder eigene Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler zu suchen, die möglichst wenig Reibungspunkte zu den fachlich geklärten Vorstellungen liefern (Duit, 2015, S. 668).

Es wird darauf abgezielt, wenig bis gar keine Diskrepanz zwischen den persönlichen Perspektiven der Schülerinnen und Schüler und den wissenschaftlichen Fakten zu erhalten. Nach Duit (2015) handelt es sich dabei um einen Lernweg, der zu einem kontinuierlichen Übergang führen soll. Dabei sollen die Lernenden langsam zu einem Verständnis für fachlich korrekte Vorstellungen kommen.

Bei der **Variante des Umdeutens** geht es, ebenso wie beim Anknüpfen, um den Versuch, einen kontinuierlichen Weg von Schülervorstellungen zu physikalischen Vorstellungen zu finden (ebd.).

Dabei sollen einzelne Aspekte der Schülervorstellung umgedeutet werden. Ein Beispiel dazu liefert Duit (2015) mit dem einfachen elektrischen Stromkreis: Viele Schülerinnen und Schüler leiden an der falschen Vorstellung, dass der Strom am Lämpchen „verbraucht“ wird. Hier schreibt Duit, dass man die Vorstellung der Schülerinnen und Schüler durch Ersetzen des Wortes „Strom“ durch „Energie“ umdeuten kann, denn am Lämpchen wird Energie und nicht Strom „verbraucht“. Eine zusätzliche Herangehensweise, die den Begriff des Verbrauchens umgeht, wäre das Ersetzen des Verbs „verbrauchen“ durch „umwandeln“. Man könnte den Schülerinnen und Schülern an dieser Stelle zusätzlich erklären, warum Energie nie verbraucht wird.

Beim **Konfrontieren** wird bewusst ein anderer Weg als bei den zuvor angeführten Ansätzen gewählt – der diskontinuierliche. Es wird dabei laut Duit (2015) von Situationen ausgegangen, die zu einem inneren Konflikt bei den Lernenden führen. Das bedeutet, dass gewisse Schülervorstellungen durch Gegenüberstellungen mit fachlich korrekten Vorstellungen oder Voraussagen zu Ausgängen von Experimenten absichtlich angefacht werden (ebd., S. 669) Hierbei betont Duit (2015) jedoch, dass es zum Teil möglich sei, dass die Schülerinnen und Schüler den kognitiven Konflikt nicht als solchen sehen und sich weiter auf die Richtigkeit ihrer Schülervorstellung beziehen.

Clement (1993) führt einen weiteren Ansatz an, der zu einem Konzeptwechsel führen kann. Die **Brückenstrategie** soll den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit bieten, eine bekannte Vorstellung („Ankervorstellung“) durch wenige Veränderungen bzw. Zwischenschritte in eine physikalisch richtige Vorstellung umzuwandeln. Der Vorteil dieser Methode ist, dass Schülerinnen und Schülern dadurch angeregt werden, ihre eigenen Vorstellungen zu hinterfragen, zu kritisieren und durch fachlich korrekte Konzepte zu ersetzen (Clement, 1993, S. 1243f).

3.2.2 Schülervorstellungen zu (Mikrowellen-) Strahlung

Im folgenden Abschnitt werden bekannte Schülervorstellungen aus dem Gebiet des Strahlenunterrichts dargestellt. Vorweg sei anzuführen, dass in der fachdidaktischen Forschung hinsichtlich Schülervorstellungen zu elektromagnetischer Strahlung nur bedingt Erkenntnisse vorhanden sind. Es bedarf, besonders im Gebiet der Mikrowellenstrahlung, weiterführender Forschung um eine breitere Masse an vorhandenen Prä-Konzepten erfassen und dokumentieren zu können.

In der vorwissenschaftlichen Arbeit von Schlobach (2015) wurden Schülervorstellungen zu Mikrowellenstrahlung erhoben. In Form eines Fragebogens wurden zehn Schülerinnen und Schüler der 7. bis 11. Schulstufe zu Mikrowellenstrahlung befragt. Die Ergebnisse lieferten Vorstellungen zu den Themen Anwendungsbereich, Ausbreitungsgeschwindigkeit, elektromagnetisches Spektrum, Gefahr und Nutzen, Welle-Teilchen Dualismus und Funktionsweise des Mikrowellenofens (Schlobach & Mag Wenk, 2015).

Plotz (2017b) verfasste einen Artikel zu Schülervorstellungen zu Strahlung und führte Ergebnisse verschiedener Studien an, die sich mit Prä-Konzepten von Schülerinnen und Schülern zu Strahlung im Allgemeinen, oder bestimmter Arten von Strahlung beschäftigten. Es wurden dafür Studien aus dem nationalen und internationalen Raum zwischen 1980 und 2016 herangezogen. Es geht hervor, dass keine eigens zu Schülervorstellungen von Mikrowellenstrahlung durchgeführte Studie existiert: „*For this part of the spectrum student conceptions seem to be totally unknown [...] students do have conceptions of microwave radiation, but they have not been documented yet.*“ (Plotz, 2017b, S. 4)

Bereits dokumentierte Schülervorstellungen bezüglich (Mikrowellen-)Strahlung sind, dass

- Strahlung nicht natürlich sei (Plotz, 2017b, S. 3).
- die Dosis der Strahlung die Gefahr definiert und nicht die ionisierende Energie der Strahlungsart (ebd.).
- der Mikrowellenherd die einzige Anwendung von Mikrowellenstrahlung im Alltag ist. Mobilfunk, Radar und Satellitenfernsehen werden spontan nicht genannt (Schlobach & Mag Wenk, 2015, S. 20).
- Mikrowellenstrahlung Krebs verursacht (ebd., S. 22).
- Mobilfunkstrahlung gefährlich sei (Plotz, 2017b, S. 3).

Den Schülerinnen und Schülern ist nicht bewusst, dass

- Mikrowellenstrahlung ständig präsent ist und uns umgibt (Schlobach & Mag Wenk, 2015, S. 21).

- sich Mikrowellenstrahlung mit Lichtgeschwindigkeit ausbreitet (ebd.).
- Mikrowellen Teil des elektromagnetischen Spektrums sind und was dies bedeutet (ebd.).
- ionisierende und nicht-ionisierende Strahlungsarten unterschiedliche Eigenschaften besitzen (Plotz, 2017b, S. 3).
- Mikrowellenstrahlung nicht Teil der ionisierenden Strahlungsarten ist (ebd.).

3.2.3 Anwendung im Unterricht

Laut Plotz (2017b) ist es unabdingbar sicherzustellen, dass Schülerinnen und Schüler elektromagnetische Strahlung in ihren Grundzügen verstehen. Im Artikel werden dafür vier Kernaussagen vorgestellt, die als Grundgerüst für Lehrpersonen bei der Vorbereitung von Unterricht bezüglich der verschiedenen Arten elektromagnetischer Strahlung dienen sollen (Plotz, 2017b, S. 3).

1. Elektromagnetische Strahlung wird über die Wellenlänge klassifiziert. Jede Strahlungsart ist auf dem elektromagnetischen Spektrum an einem bestimmten Platz eingeordnet.
2. Elektromagnetische Strahlung benötigt kein Medium um sich auszubreiten. Jede elektromagnetische Strahlungsart breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit im Vakuum aus.
3. Elektromagnetische Strahlung ist allgegenwärtig. Jede Art von EM-Strahlung umgibt uns in unterschiedlicher Intensität.
4. Elektromagnetische Strahlung transportiert Energie und interagiert mit Materie in unterschiedlicher Weise, abhängig von der Wellenlänge der Strahlungsart und der Materie an sich.

Dieses Basis-Konzept wurde bei der Planung der Unterrichtseinheit berücksichtigt, um zu versuchen Fehlvorstellungen und falschen Prä-Konzepten entgegenzuwirken. Besonders bei der Erstellung des Einführungstextes zu elektromagnetischer Strahlung wurde auf die Einbindung dieser Kernaussagen Wert gelegt.

Angelehnt an die bekannten Schülervorstellungen ist eine weitere Maßnahme, die den Strahlungsunterricht begünstigen kann, das Licht als sichtbare Strahlungsart einzuführen und zu thematisieren (Neumann & Hopf, 2012, S. 833).

3.3 Gestufte Lernhilfen

Gestufte Lernhilfen – oder nach Leisen (1999) auch abgestufte Lernhilfen genannt – werden im Unterricht als eine Methode zur Unterstützung des Lernens mit Fokus auf die Eigenini-

tiative der Schülerinnen und Schüler gelegt. Leisen (1999) erklärt die Nummer 23 unter seinen „Methodenwerkzeugen“ folgendermaßen:

> *„Abgestufte Lernhilfen sind eine Methode zur Förderung und Unterstützung des Selbstlernens. Den Lernern werden zu einer Aufgaben- oder Problemstellung Hilfen angeboten, abgestuft von schwach bis stark. Die Schüler entscheiden selbst, ob und wann sie davon Gebrauch machen.“*

Im Unterricht wird diese Methode in Verbindung mit komplexen Aufgabenstellungen eingesetzt, dessen Arbeitsprozess durch den Einsatz der gestuften Lernhilfen unterstützt werden soll (Franke-Braun, Schmidt-Weigand, Stäudel & Wodzinski, 2008, S. 27).
Stäudel et al. (2007) kategorisieren die gestuften Lernhilfen in inhaltliche und lernstrategische Hilfen:

- **Inhaltliche Hilfen** werden entweder als direkte Hilfe oder als konkrete Frage formuliert.

- **Lernstrategische Hilfen** können in verschiedenen Formen auftreten, wie durch Aufforderungen (z.B. Paraphrasieren), Aktivierung von Vorwissen, Verknüpfung von Inhalten und Fragen (z.B. „Hast du alle wesentlichen Informationen vom Arbeitsblatt gelesen? Welche Informationen benötigst du noch für die Lösung?“

Die Lernhilfen sollen die Schülerinnen und Schüler beim Problemlösungsprozess unterstützen. Hier sei jedoch anzumerken, dass eine Beschränkung auf nur lernstrategische Hilfen zu keiner Unterstützung des Bearbeitungs- und Lösungsprozesses führt. Für einen erfolgreichen Einsatz der gestuften Lernhilfen im Unterricht ist die Anwendung von inhaltlichen und lernstrategischen Hilfen in Kombination unabdingbar (Stäudel, Franke-Braun & Schmidt-Weigand, 2007, S. 118). Die Anzahl der zur Verfügung gestellten Tipps einer gestuften Lernhilfe kann dabei je nach Aufgabe, Themengebiet und Anwendung variieren.
Franke et al. (2008) führten eine videobasierte Studie mit 62 Schülerinnen und Schülern der 9. Schulstufe zur Wirksamkeit von Aufgaben mit gestuften Lernhilfen durch und resümierten mit dem Fazit:

> *„Die Studie ergab Effekte der gestuften Lernhilfen hinsichtlich einer verbesserten Lernleistung, einem positiven Lernerleben und einer höheren Kommunikationsqualität in den Lerndyaden.“* (S. 27)

3.3.1 Anwendung im Unterricht

Laut Leisen (1999) empfiehlt es sich die gestuften Hilfen in Kuverts zu legen, da dies dem vorzeitigen Öffnen und Lesen der Lösungen entgegenwirkt. Das zusätzliche Falten der Lernhilfen sorgt für eine kleine Hemmschwelle vor Heranziehen der Tipps (Stäudel et al., 2007, S. 118).

Bei der Bearbeitung der Aufgaben, die durch gestufte Lernhilfen unterstützt werden, kann auf Partner- oder Gruppenarbeit zurückgegriffen werden. Ein klarer Vorteil von Gruppenarbeiten ist, dass durch die gemeinsame Bearbeitung der Aufgaben eine sachbezogene Kommunikation zwischen den Schülerinnen und Schülern, sowie ein produktiver Austausch zur Lösung gefördert wird (Franke-Braun et al., 2008, S. 30).
Falls eine Gruppe mit der Inanspruchnahme der Hinweise zögert, ist es als Lehrperson ratsam, die Schülerinnen und Schüler zu ermutigen, die gestuften Lernhilfen zu nutzen, denn „*so wird Misserfolgserleben vermieden und ein Ausstieg aus dem Bearbeitungs- und Lernprozess verhindert*“ (Stäudel et al., 2007, S. 118).

Den Schülerinnen und Schülern soll verdeutlicht werden, dass sie selbst über den Zeitpunkt der Beanspruchung einer Hilfe bestimmen, wodurch die Eigenverantwortung und der Ehrgeiz der Schülerinnen und Schüler aktiviert werden sollen (ebd.). Zusätzlich wird den Schülerinnen und Schülern dadurch die Möglichkeit geboten, den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe, sowie das Ausmaß der Nutzung selbst zu bestimmen (Franke-Braun et al., 2008, S. 29). Für die Schülerinnen und Schüler bietet diese Methode die Vorteile, fehlende Informationen selbstständig beschaffen zu können und sich vor der Lehrperson nicht als unwissend zeigen zu müssen (ebd., S. 30).
Die Lehrperson sollte sich während des Arbeitsprozesses eher zurückhalten und weitestgehend die Rolle der Beobachterin oder des Beobachters einnehmen. Durch die Zurückhaltung und einhergehende Beobachtung der Lehrperson wird das selbstständige Arbeiten der Schülerinnen und Schüler nicht gestört und zusätzlich möglichst vermieden, dass die Schülerinnen und Schüler laufend Fragen an die Lehrkraft richten (Hänze, Schmidt-Weigand & Stäudel, 2010, S. 70).

KAPITEL 4

Forschungsmethoden

Dieses Kapitel befasst sich mit den Forschungsmethoden, mit denen während des Prozesses der Entwicklung des Unterrichtsmaterials gearbeitet wurde. Zum einen handelt es sich dabei um den Design-Based Research Ansatz, der die Phasen der Erarbeitung, Durchführung und Überarbeitung des Materials kennzeichnet. Zum anderen wird die Methode des Think-Alouds vorgestellt, die im Zuge der ersten Testung des Lernmaterials zum Einsatz gekommen ist. Zusätzlich wird auf die Methode zur Analyse der aus den Durchführung gewonnenen Erkenntnissen eingegangen.

4.1 Design-Based Research

Die Fachdidaktik der Naturwissenschaften wird zum Teil zwischen reinen Grundlagenstudien und anwendungsbezogenen Entwicklungsarbeiten eingeordnet. Dabei werden die Grundlagenforschung und die anwendungsbezogene Forschung als konträre Parteien angesehen, die wenig gemein haben. Jedoch ist dem laut Wilhem und Hopf (2014) nicht so, denn die Grundlagenforschung wird sehr wohl durch die Praxis beeinflusst und obwohl deren Entwicklung nicht parallel zur anwendungsbezogenen Forschung läuft, so besteht ein Zusammenhang zwischen den beiden Gebieten.

Die Design-Forschung versucht praxisrelevante Fragestellungen unter Einhaltung forschungsmethodischer Standards zu bearbeiten, mit dem Ziel mehr Praxis-Bezug in der Fachdidaktik-Forschung herzustellen. Dabei wird Design als Prozess zur Erstellung von Lernumgebungen für die Lösung konkreter Probleme der Praxis verstanden. Damit einher gehen die Entwicklung und Weiterentwicklung von Lerntheorien entsprechend des jeweiligen Themenbereichs (Wilhelm & Hopf, 2014, S. 31f).
Design-Based Research versucht die Komplexität von Situationen aus dem realen Leben, z.B. dem Schulalltag, zu verstehen. In diesem Zusammenhang erfolgen flexible Änderungen des Designs, spielen verschiedenste Variablen eine Rolle und nimmt das Erfassen sozialer Interaktionen einen entscheidenden Platz ein. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer wer-

den weniger als Testobjekte, sondern vielmehr als Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Prozesse der Designphase, Umsetzung und Analyse angesehen (Barab & Squire, 2004, S. 3).
Design-Based Research strebt nach einer funktionierenden und klaren Theorie für die Lösung praxisorientierter Probleme. Die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse sind Basis für die Entwicklung von Schulbüchern oder, wie auch in dieser Arbeit, Unterrichtsmaterialien (Wilhelm & Hopf, 2014, S. 33).

4.1.1 Anwendung in der Praxis

Die folgenden Phasen werden bei der Anwendung von Design-Based Research in kontinuierlichen Zyklen durchlaufen:

- **Design:** Mit der ersten Entwicklung der Lernumgebung hängt die intensive Beschäftigung mit Theorien zum jeweiligen Problem und möglichen Ideen zur Bearbeitung desselben in der Praxis zusammen. Die jeweiligen Ziele und Bedingungen bestimmen dabei den Prozess des Designs (Edelson, 2002, S. 108f).

- **Umsetzung und Analyse:** Wie zuvor erwähnt, werden die Lernumgebungen zumeist in *real-life settings* erprobt, also genau dort wo der Großteil des Lernens tatsächlich passiert. Bei der Analyse wird der Fokus auf die Charakterisierung der Situation in all ihrer Komplexität gelegt, dabei werden verschiedene Aspekte berücksichtigt (Barab & Squire, 2004, S. 3f). Brown (1992) führt an, dass der Wechsel zwischen verschiedenen Formen der Forschung – einerseits das Klassenzimmer, andererseits die isolierte Forschungsstätte – eine Bereicherung für deren Prozess und Ergebnis sein kann. Beide Lernumgebungen in Kombination ermöglichen ein tieferes Verständnis der zu testenden Lernumgebung (Brown, 1992, S. 152ff).

- **Re-Design:** Die Beobachtungen und Ergebnisse, die während der Testungen der Lernumgebung – sei es im Klassenzimmer oder unter kontrollierten Bedingungen – erfasst werden konnten, bestimmen den Prozess der Umgestaltung (Edelson, 2002, S. 109).

Durch die mehrmalige Durchführung der beschriebenen Phasen und eine damit einhergehende Vertiefung des Verständnisses für den Design-Kontext entwickelt sich die Lernumgebung im Idealfall weiter bis zu einer Version, die in komplexen Situationen funktioniert und, im Unterricht eingesetzt, die gesetzten Ziele erfüllt. Dies sei als Maßstab für das im Rahmen dieser Diplomarbeit erstellte Lernmaterial festgelegt.

Laut Brown (1992), einer Pionierin bezüglich *design experiments*, sind Schülerinnen und Schüler angehalten, sich als Forscherinnen und Forscher wahrzunehmen und selbst Verantwortung für den eigenen Wissenszuwachs zu übernehmen. Die Lehrperson nimmt in dieser neuen Lernumgebung eine unterstützende und auf die Bedürfnisse der Schülerinnen und

Schüler zugeschnittene Rolle ein und nimmt Abstand von stark lehrerinnen- und lehrerzentrierten, unflexiblen Unterrichtsformen (Brown, 1992, S. 150). Diese Änderung in der Unterrichtsführung, hin zu einer intentionalen Lernumgebung, wurde bei der Erstellung des Lernmaterials für die Unterrichtseinheit zu „Mikrowellenstrahlung“ ebenso berücksichtigt.

4.2 Think-Aloud Methode

Bei der Think-Aloud Methode, die im deutschen Sprachraum auch „Lautes Denken“ genannt wird, handelt es sich um eine in der pädagogisch-psychologischen und fachdidaktischen Lehr-Lern-Forschung angewandten Methode, die Einblicke in die mentalen Prozesse der Lernenden liefert (Frommann, 2005, S. 1) und der Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen dient (Schnell, 2016, S. 29). Die Probandinnen und Probanden erhalten Aufgaben und sind aufgefordert, jeden ihrer Gedanken während der Untersuchung laut auszusprechen. Laut Frommann (2005) wird für die Versuchsleiterin oder den Versuchsleiter dadurch schon während der Durchführung ersichtlich, wie und warum die Teilnehmerinnen und Teilnehmer etwas tun und, vor allem, wo potentielle Schwierigkeiten liegen. Aus diesem Grund ist die Methode des „Lauten Denkens“ besonders wirksam bei der Erprobung von Lehrmaterial, da auf Grund des Designs genau ermittelt werden kann, wo bei der Bearbeitung des Materials Probleme auftreten (Frommann, 2005, S. 1).

Für die Erstellung des Unterrichtsmaterials dieser Diplomarbeit ist die Think-Aloud Methode ein grundlegender Baustein, denn durch ihre Anwendung konnten die Verständlichkeit der Aufgaben und der zeitliche Rahmen überprüft werden, sowie das Problemlöseverhalten der Schülerinnen und Schüler analysiert werden.

Da das Arbeitsmaterial zum Thema Mikrowellenstrahlung auf die Lese- und Schreibkompetenz der Schülerinnen und Schüler zurückgreift, ist die Überprüfung der **Verständlichkeit** der unterschiedlichen Aufgaben unabdingbar. Gewisse Formulierungen oder Satzstellungen können Faktoren für inhaltliche Unverständlichkeit sein und im Folgenden Schwierigkeiten für die Lösung einer Aufgabe darstellen (Schnell, 2016, S. 27). Um semantische Missverständnisse zu vermeiden, sollte laut Schnell (2016) bei der sprachlichen Umsetzung der Aufgaben auf die inhaltliche Nachvollziehbarkeit Wert gelegt werden. Die Aufgaben sollen für die Probandinnen und Probanden verständlich aufbereitet sein. Die Methode „Lautes Denken“ ist eine Möglichkeit, um das Unterrichtsmaterial hinsichtlich der sprachlichen Verständlichkeit prüfen zu können. Wenn bei der Auswertung der Think-Aloud Methode herauskommt, dass die Schülerinnen und Schüler Probleme haben, den Inhalt der Aufgaben zu verstehen, sieht Schnell (2016) die Notwendigkeit Maßnahmen zu ergreifen, um die Aufgaben zu adaptieren. Ein Beispiel wäre die Wahl neuer Begrifflichkeiten oder die Änderung bestehender Satzstrukturen.

Des Weiteren ist der **zeitliche Aspekt** ein wesentlicher Punkt, der bei der Planung von Unterricht unbedingt berücksichtigt werden soll. Gerade bei der Durchführung von Experimenten im Unterricht ist es sinnvoll, diese zuvor testen zu lassen. Dadurch kann abgewogen werden, wie lange die Versuche und damit die einzelnen Arbeitsschritte in etwa dauern werden. Als Junglehrerin und Junglehrer mit wenig Praxiserfahrung ist es zum Teil schwierig einzuschätzen, wie lange die Schülerinnen und Schüler für gewisse Arbeitsschritte brauchen, weshalb eine vorab durchgeführte Testung des Unterrichtsmaterials aufschlussreich sein kann.

Anhand der Think-Aloud Methode kann ebenso überprüft werden, wie sich die Schülerinnen und Schüler bei auftretenden Schwierigkeiten verhalten. Durch das laute Aussprechen ihrer Gedanken, kann für die Testleiterin oder den Testleiter nachvollzogen werden, welche genauen Bereiche den Schülerinnen und Schülern Probleme bereiten und vor allem weshalb.

4.2.1 Anwendung in der Praxis

Es sollte bei der Wahl der Testpersonen auf die Altersgruppe, sowie das Geschlecht geachtet werden. Da das Unterrichtsmaterial für eine 4. Klasse Unterstufe entwickelt wurde, sollte das Alter der Teilnehmerinnen und Teilnehmer zwischen 13 und 14 Jahren liegen. Bezüglich des Geschlechts ist auf eine Ausgeglichenheit zwischen männlichen und weiblichen Teilnehmerinnen und Teilnehmern zu achten. Laut Frommann (2005) reichen für die Durchführung des Think-Alouds schon wenige Versuchspersonen, um bei der Testung des Lehrmaterials wertvolle Ergebnisse zu erhalten.
Frommann (2005) schreibt über die Wichtigkeit, einen geeigneten Ablauf für die Methode des „Lauten Denkens“ zu wählen, der aus verschiedenen Phasen besteht. Begonnen wird mit einem Einstieg, der den Versuchsteilnehmerinnen und -teilnehmern Nervosität nehmen soll und für Orientierung und Sicherheit sorgt (Frommann, 2005, S. 3). Eine angenehme Atmosphäre, abhängig von den Räumlichkeiten und dem Arbeitsplatz, Pünktlichkeit, Ordnung, professionelles Auftreten und einleitende Worte sind laut Frommann (2005) Punkte, auf die man als Versuchsleiterin oder Versuchsleiter achten soll.

Die Technik des „Lauten Denkens“ sollte erklärt und demonstrativ anhand eines Übungsbeispiels vorgestellt werden. Dies soll die Probandinnen und Probanden an die Methode des „Lauten Denkens“ heranführen. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer werden darüber aufgeklärt, dass das laute Aussprechen von Absichten, Ideen, Gedankengängen, Empfindungen und Problemen entscheidend ist (ebd., S. 4) und im Zweifelsfall lieber zu viel als zu wenig gesprochen werden sollte. Nach Bearbeitung des Übungsbeispiels ist ein gemeinsames Gespräch, um etwaige Fragen zu klären und zu reflektieren, sinnvoll.

4.3 Analysemethode

Als Analysemethode für die Auswertung der Transkripte der beiden Think-Alouds, sowie der Arbeitsblätter zu den beiden Stunden der Unterrichtseinheit wird die von Krüger und Riemeier (2014) beschriebene qualitative Inhaltsanalyse, eine Methode zur Auswertung von Interviews, herangezogen. Es sei hervorzuheben, dass diese Methode nicht im klassischen Sinn angewandt wurde, sondern den Umständen entsprechend angepasst wurde.

Ziel dieser Methode ist es, Daten durch theoriebasiertes, systematisches und regelgeleitetes Vorgehen zu analysieren. Die Erhebung der Daten erfolgt dabei in mehreren Zyklen, nach denen jeweils Schritte der Aufbereitung und Auswertung des Materials folgen (Krüger & Riemeier, 2014, S. 134f). In Verbindung mit dem Design-Based Research Ansatz (siehe 4.1) wird die zyklische Datenerhebung, sowie deren Analyse und Auswertung unterstützt. Laut Krüger und Riemeier (2014) bilden die verbalen Aussagen der Probandinnen und Probanden bei der Auswertung der Daten die Grundlage der Interpretation. Schriftliche Aufzeichnungen zum Datenmaterial können ebenso herangezogen werden (ebd.).
Die Transkripte der beiden Think-Alouds wurden nach Krüger und Riemeier (2014) geordnet, das heißt, dass Abschnitte und Sätze, bei denen themenbezogene Ähnlichkeiten aufgetreten sind, in entsprechende Kategorien und weiterführende Aussagen in neue Kategorien eingeteilt wurden. Mit Bezug auf die jeweiligen Arbeitsaufträge bzw. Fragestellungen wurden die Aussagen der jeweiligen Kategorien auf Kohärenz oder Unterscheidung analysiert. Weiterführend wurde versucht die Aussagen zu interpretieren, und mögliche Gründe für Fehlvorstellungen oder Verständnisschwierigkeiten zu erläutern (ebd., S. 141). Zusätzlich wurden die Aufzeichnung, die während der Durchführung der Think-Alouds von mir getätigt wurden, berücksichtigt. In Abschnitt 5.3.1 werden die inhaltsanalytischen Auswertungen der Think-Alouds systematisch pro Aufgabenstellung beschrieben.

Bei der Analyse der Arbeitsaufträge, die im Rahmen der Testungen in den Schulklassen bearbeitet wurden, wurde ähnlich vorgegangen. Durch die große Anzahl an Schülerinnen und Schülern wurden jedoch keine Transkripte erstellt, was einen deutlichen Unterschied zu der Analyse der Think-Alouds darstellt. Bei der Analyse der Arbeitsmappen, sowie der Kärtchen mit den Arbeitsaufträgen für die Diskussionsrunde wurden die Aufzeichnungen der Schülerinnen und Schüler geordnet und in Kategorien eingeteilt. Nach Krüger und Riemeier (2014) wurden sie dabei auf Kohärenz oder Unterscheidung analysiert und versucht, mögliche Gründe und Interpretationen für die Aussagen der Schülerinnen und Schüler zu finden. Zusätzlich wurden die Notizen, die während der Hospitationen der Stunden entstanden sind und auf Aussagen der Schülerinnen und Schüler eingehen, berücksichtigt. Die entsprechenden Ergebnisse der Auswertungen sind in Kapitel 5 angeführt, dabei sind die Analysen der Aufgaben der zweiten Unterrichtsstunde in Abschnitt 5.3.2 und 5.4.2 und die Ergebnisse der Auswertung der ersten Unterrichtsstunde in Abschnitt 5.4.1 vorzufinden.

KAPITEL 5

Entwicklung des Unterrichtsmaterials

Die Unterrichtseinheit zum Thema „Mikrowellenstrahlung“ wurde anhand des Design-Based Research Ansatzes entwickelt (siehe Kapitel 4.1). Die einzelnen Phasen der Entwicklung, sowie der chronologische Ablauf der Testungen der Unterrichtsmaterialien sind in Abbildung 5.1 und Tabelle 5.1 ersichtlich.

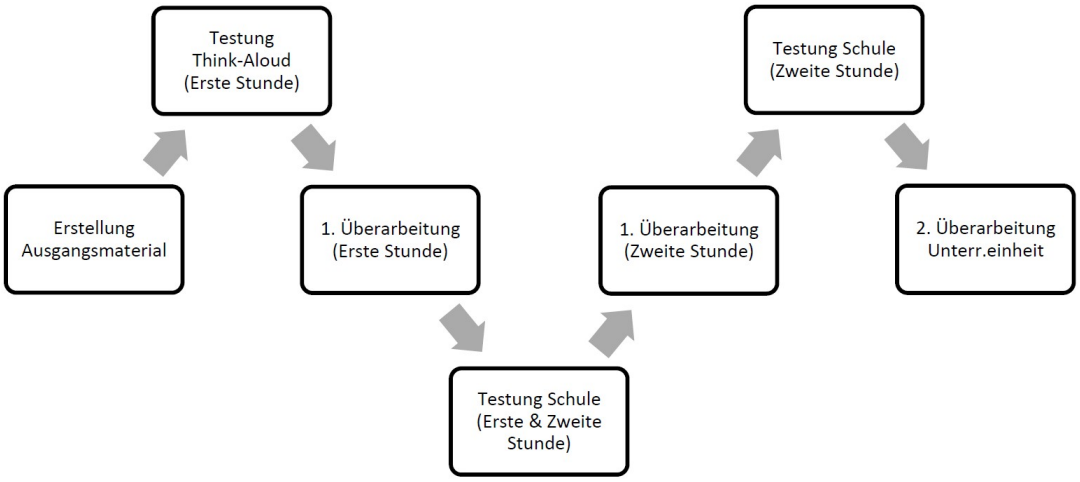


Abbildung 5.1: Der zeitliche Verlauf der Entwicklung des Unterrichtsmaterials

In einer ersten Phase wurden die Ausgangsmaterialien der Unterrichtseinheit – im Rahmen von zwei Schulstunden – gemäß fachdidaktischer Theorien und Methoden erstellt. Das Material der ersten Unterrichtsstunde wurde durch die Methode des Think-Alouds erprobt und anschließend in einer Re-Design Phase überarbeitet. In einem zweiten Evaluationsprozess wurde die überarbeitete Version in drei vierten Klassen getestet.

Die zweite Stunde der Unterrichtseinheit wurde in den darauffolgenden Physikstunden erstmalig in zwei der drei vierten Klassen erprobt. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse wurde das Material überarbeitet und die verbesserte Version in der letzten der drei vierten Klassen getestet. In dieser Klasse hat aus zeitlichen Gründen eine größere Pause zwischen den beiden Stunden der Unterrichtseinheit stattgefunden. Idealerweise würde die Unter-

richtseinheit in einer Woche in zwei aufeinanderfolgenden Unterrichtsstunden durchgeführt werden.
In einem letzten Schritt folgte eine weitere Re-Design Phase, in der die gesamte Unterrichtseinheit erneut überarbeitet und dementsprechend optimiert wurde.

Zeitlicher Verlauf der Testungen der Unterrichtseinheit				
	Erste Stunde		*Zweite Stunde*	
	1. Testung (Think-Aloud)	2. Testung (Drei 4. Klassen)	1. Testung (Zwei 4. Klassen)	2. Testung (Eine 4. Klasse)
2 SchülerInnen	12.03.2018			
4E		20.03.2018	22.03.2018	
4B		22.03.2018	23.03.2018	
4D		23.03.2018		10.04.2018

Tabelle 5.1: Der zeitliche Ablauf der Testungen des Materials der beiden Unterrichtstunden

In der Tabelle 5.1 ist angeführt, zu welcher Zeit die jeweiligen Testungen der Unterrichtsmaterialien stattgefunden haben. Dadurch wird deutlich, wie die in den folgenden Kapiteln beschriebenen gewonnen Erkenntnisse aus den Erprobungen und die daraus entstandenen Überarbeitungen der Materialien zustande gekommen sind.

5.1 Didaktische Analyse

Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, wurde eine Didaktische Analyse zur Unterrichtseinheit erstellt. Ausgehend von den Themenbereichen und Schlüsselbegriffen werden die fachlichen Inhalte mit Prinzipien der Didaktik verknüpft. Ziel ist es, durch die Erkenntnisse der didaktischen Analyse Aufschluss über mögliche methodische Umsetzungen im Unterricht zu erlangen (Klafki, 1962, S. 22).

Die Schülervorstellungen wurden in die Entwicklung miteinbezogen, jedoch nicht nochmals extra angeführt, da diese in Kapitel 3.2.2 bereits besprochen wurden.

Themenbereiche und Schlüsselbegriffe

Elektromagnetische Strahlung: elektromagnetisches Spektrum, sichtbare und nicht sichtbare Strahlung, ionisierende und nicht-ionisierende Strahlung

Mikrowellenstrahlung: Wellenlänge λ, Wellenlängenbereich (1 mm bis 1 m), Wellenberg und -tal, Ausbreitungsgeschwindigkeit c

Reflexion: Abschirmung der Strahlung, Metalle, Reflexionsgesetz: Einfallswinkel α, Reflexionswinkel β

Transmission: Durchlässigkeit der Strahlung, Materialabhängigkeit

Absorption: Energieumwandlung in Wärmeenergie

Mobilfunkstrahlung: Mobile Kommunikation, Mobilfunknetz, Strahlungsintensität, Spezifische Absorptionsrate (SAR-Wert), Auswirkungen auf den Menschen

wissenschaftliche Studien zu Mobilfunkstrahlung: Widersprüchlichkeit, Gefahr und Nutzen, Zusammenhang zu Krebserkrankungen

Grobziele

- Einordnung von Mikrowellenstrahlung im elektromagnetischen Spektrum und Unterscheidung zwischen sichtbarer und nicht-sichtbarer Strahlung
- Charakteristika von Mikrowellen: nicht sichtbar, Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit c, Wellenlänge λ, Wellenlängenbereich (1 mm bis 1 m), nicht-ionisierend, Mikrowellen können reflektiert, transmittiert und absorbiert werden
- Reflexion, Transmission oder Absorption bei Wechselwirkung von Mikrowellen mit bestimmten Materialien
- Mobilfunkstrahlung: Mobile Kommunikation erfolgt über Mobilfunkstrahlung, Funktionsweise des Mobilfunknetzes, Strahlungsintensität von Mobiltelefonen, die Bedeutung des SAR-Werts, mögliche biologische Auswirkungen auf den Menschen durch Mobilfunkstrahlung
- wissenschaftliche Studien zu Mobilfunkstrahlung: widersprüchliche Ergebnisse bearbeiten und diskutieren, Konsens über Gefahren und Nutzen der Mobilfunknstrahlung erarbeiten, Zusammenhang zwischen Mobilfunkstrahlung und Krebserkrankungen (Gliome)

Warum Schülerinnen und Schüler das lernen sollen

Begründung durch den Lehrplan

Die Bildungs- und Lehraufgabe des Physikunterrichts umfasst unter anderem die Verknüpfung der Physik mit anderen Gegenständen, sowie die umfassende Darstellung und das Bewusstmachen des Umweltbegriffes. Dadurch wird verantwortungsbewusstes Handeln gefördert, wodurch im Weiteren eine bessere Orientierung in der Umwelt erzielt wird. Erreicht werden kann dies beispielsweise durch: (BMBWF - Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung, 2003, S. 1)

- gesteigertes Bewusstsein für die Wichtigkeit technischer Errungenschaften für Gesellschaft und Umwelt
- Differenzierung zwischen ebendiesen und gefahrbringenden Entwicklungen
- Erkennen von Gefahren im naturwissenschaftlich-technischen Kontext

- Auseinandersetzung mit Möglichkeiten zur Minimierung der gefahrbringenden Entwicklungen/Probleme

Weiters wird im Bildungsbereich „Mensch und Gesellschaft“ des Lehrplans Physik der Unterstufe der Einfluss von Physik und Technik auf gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Fortschritte betont. Es soll ebenso Wert auf kritische Auseinandersetzungen mit nicht-wissenschaftlichen bzw. technikfeindlichen Meinungen, sowie auf den Einfluss moderner Technologien gelegt werden. Ferner wird das Entwickeln persönlicher Wertvorstellungen bezüglich des Umgangs mit der Umwelt erwähnt (ebd., S.2).

Im allgemeinen Lehrplan wird im Abschnitt „Herstellen zu Bezügen zur Lebenswelt“ auf exemplarisches Lernen zu zeit- und lebensnahen Themen eingegangen, was im Fall dieser Arbeit auf das Thema „Mikrowellenstrahlung“ und „Gefahren und Nutzen von Mobilfunkstrahlung“ zutrifft. Durch die Bearbeitung der unterschiedlichen Themen wird auf die Gewinnung von Einsichten, Kenntnissen, Fähigkeiten, Fertigkeiten und Methoden abgezielt. Den Schülerinnen und Schülern sollte es möglich sein, die gewonnenen Erkenntnisse eigenständig auf weitere Probleme und Aufgaben zu übertragen. Die im Unterricht eingesetzten Materialien und Medien bedürfen Aktualität und einer anschaulichen Aufbereitung, um die Schülerinnen und Schüler zu aktiver Mitarbeit zu motivieren (BMBWF - Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung, 2004, S. 7). Genau darauf wird bei der Entwicklung des Unterrichtsmaterials im Rahmen dieser Diplomarbeit abgezielt.

Der Kernbereich der Unterstufe für die 4. Klasse Physik umfasst vier Themenbereiche: (BMBWF - Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung, 2003, S. 4f)

- Elektrizität bestimmt unser Leben
- Die Welt des Sichtbaren
- Gekrümmte Wege auf der Erde und im Weltall
- Das radioaktive Verhalten der Materie

Mikrowellenstrahlung könnte durch die Lehrperson als Teil des Erweiterungsbereiches für die 8. Schulstufe eingeführt werden. Im Allgemeinen sollten bei der Gestaltung des Erweiterungsbereiches einige Punkte beachtet werden, darunter die individuellen Schwerpunkte der Lehrperson, sowie die inhaltliche Vernetzung zum Kernbereich (ebd.). Eine Verbindung zwischen dem Bereich „Welt des Sichtbaren“, genauer gesagt der Einführung von Licht als sichtbare elektromagnetische Strahlung, und Mikrowellenstrahlung als unsichtbare elektromagnetische Strahlungsart würde dieser inhaltlichen Abstimmung mit dem Kernbereich entgegenkommen.

Ebenfalls wird durch die intensive Befassung mit wissenschaftlichen Studien zu Mikrowellenstrahlung – ihren Auswirkungen auf den menschlichen Körper bzw. ihren

Nutzen in unterschiedlichen Bereichen – ein gesteigertes Bewusstsein für die moderne Technik und die kritische Auseinandersetzung mit widersprüchlichen Forschungsergebnissen gefördert. Dies würde im Großen und Ganzen den im Lehrplan angeführten Voraussetzungen und dem allgemeinen Bildungsziel entsprechen.

Begründung durch den Alltag

Der Mikrowellenofen ist schon lange kein Luxusgerät mehr und in etlichen Haushalten anzutreffen. Ein Gegenstand der in der heutigen Zeit noch häufiger verwendet wird ist das *Smartphone*, dessen Datenübertragung durch Mikrowellenstrahlung erfolgt. Die gesamte moderne Kommunikation basiert auf dem Informationstransport per elektromagnetischer Mikrowellenstrahlung (Plotz, 2016, S. 37). Somit ist das ein Thema, welches sich als tagtäglicher Begleiter des Schulalltags herausstellt und demnach auch große Relevanz für den Physikunterricht darstellt.

Begründung durch die Wissenschaft

Große physikalische Bedeutung hat die Mikrowellenstrahlung auch als kosmische (Mikrowellen-)Hintergrundstrahlung: Sie ist die älteste Strahlung im Universum. Die Mikrowellenhintergrundstrahlung wird als Beweis für die Theorie des Urknalls und der darauf folgenden Expansion der Raumzeit angesehen (S. de Boer, 2007). Im Jahr 2009 wurde das Weltraumteleskop Planck gestartet, welches die folgenden 4 Jahre die kosmische Hintergrundstrahlung aufgenommen hat. Kosmologen arbeiten nach wie vor an der Aufbereitung und gänzlichen Auswertung der gewonnenen Daten (Konitzer, 2015).

Begründung durch die Technik

Die Mobilindustrie macht sich die Mikrowellenstrahlung zu Nutzen. Für die mobile Kommunikation über Handy, WLAN oder Festnetz wird Mikrowellenstrahlung eingesetzt. Auch Satellitenfernsehen wird über Mikrowellenstrahlung übertragen. Der Frequenzbereich für Mobilkommunikation liegt bei Mobiltelefonen zwischen 450 und 1900 MHz, bei WLAN können Frequenzen von bis zu 5200 MHz erreicht werden (Plotz, 2016, S. 37).

Elementare Grundideen – Key Ideas

- Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.
- Die verschiedenen Strahlungsarten werden durch die Wellenlänge λ unterschieden und entsprechend der Wellenlänge am elektromagnetischen Spektrum eingeordnet.
- Mikrowellen werden am elektromagnetischen Spektrum zwischen den Infrarot- und Radiowellen eingeordnet und sind nicht-ionisierend.

- Der Wellenlängenbereich von Mikrowellen liegt zwischen 1mm und 1m.
- Treffen Mikrowellen auf Materialien, können unterschiedliche Wechselwirkungen erfolgen: Strahlung kann reflektiert, transmittiert oder absorbiert werden.
- Treffen Mikrowellen auf Metalle, wird Strahlung reflektiert.
- Bei der Absorption von Mikrowellenstrahlung wird Strahlungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt.
- Mikrowellenstrahlung wird zur Übertragung von Mobilfunk, Erwärmung von Lebensmitteln und für Satellitenfernsehen eingesetzt.
- Es gibt Situationen, in denen die Strahlungsintensität des Mobiltelefons ein Maximum erreicht (bei Anrufen und schlechtem Empfang) und Maßnahmen, um die Strahlungsintensität auf den menschlichen Körper zu verringern (Handy mit geringem SAR-Wert kaufen, mit Headset telefonieren und auf guten Empfang achten).
- Je höher der SAR-Wert des Mobiltelefons ist, desto stärker wird das umliegende Gewebe durch dessen Strahlung erwärmt.
- In der Wissenschaft wurde noch keine endgültige Entscheidung zu den Gefahren von Mobilfunkstrahlung für den Menschen getroffen.

Kompetenzmodell

Handlungsdimension: (BIFIE - Bundesinstitut für Bildungsforschung Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens, 2011, S. 2)

- W – Wissen organisieren: W1, W4
  Mikrowellenstrahlung kann als elektromagnetische Strahlung klassifiziert und deren Auswirkungen auf die Um- und Lebenswelt erfasst, beschrieben und benannt werden.
- E – Erkenntnisse gewinnen: E1, E2, E4
  Es können zu den Versuchen mit Mikrowellenstrahlung Beobachtungen gemacht, Messungen durchgeführt und beschrieben werden. Die Messdaten und Ergebnisse der Untersuchungen von Mikrowellenstrahlung in Wechselwirkung mit anderen Materialien können analysiert und interpretiert werden.
- S – Schlüsse ziehen: S1, S4
  Aus verschiedenen wissenschaftlichen Studien, die den Zusammenhang zwischen Mobilfunkstrahlung und Krebs behandeln, können Daten, Fakten und Ergebnisse bewertet und daraus Schlüsse gezogen werden. Es kann fachlich korrekt über die Themen Mobilfunkstrahlung und Krebs argumentiert werden und zwischen naturwissenschaftlichen und nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterschieden werden.

Anforderungsdimension: (ebd.)

Anforderungsniveau II

Schülerinnen und Schüler sollen Mikrowellenstrahlung und deren Zusammenhänge zu Natur, Umwelt und Technik unter Verwendung fachspezifischer Sprachelemente (Formeln, Begriffe, etc.) und behandelter Gesetze, Größen und Einheiten beschreiben, untersuchen und bewerten. Dies fordert eine Kombination aus reproduzierendem und selbstständigem Handeln.

Inhaltsdimension: (ebd., S.5)

Teilinhalte aus „Aufbau der Materie - P 5“ können beobachtet, benannt, beschrieben und bewertet werden, Experimente können dazu geplant werden.

Feinziele

Was die Schülerinnen und Schüler am Ende der Unterrichtseinheit können sollen

- Den Schülerinnen und Schülern soll klar sein, dass Mikrowellen elektromagnetische Wellen sind, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen wissen, dass die verschiedenen Strahlungsarten durch die Wellenlänge λ unterschieden werden und entsprechend der Wellenlänge am elektromagnetischen Spektrum eingeordnet werden.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen Mikrowellen am elektromagnetischen Spektrum richtig einordnen können.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen wissen, dass der Wellenlängenbereich von Mikrowellen zwischen 1mm und 1m liegt.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen wissen, dass Mikrowellenstrahlung sowohl transmittiert (durchgelassen), absorbiert, als auch reflektiert werden kann.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen einige Materialien nennen können, welche Mikrowellenstrahlung reflektieren, transmittieren und absorbieren.
- Den Schülerinnen und Schülern soll klar sein, dass Mobilkommunikation durch Mikrowellenstrahlung funktioniert.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen einige Anwendungsgebiete von Mikrowellenstrahlung nennen können, wie z.B. Übertragung von Mobilfunk, Erwärmung von Lebensmitteln, Satellitenfernsehen.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen Situationen nennen können, in denen die Strahlungsintensität von Mobiltelefonen hoch ist und Maßnahmen anführen können, um die Strahlungsintensität auf den menschlichen Körper zu verringern.

- Die Schülerinnen und Schüler sollen erklären können, dass je höher der SAR-Wert des Mobiltelefons ist, desto stärker das umliegende Gewebe durch dessen Strahlung erwärmt wird.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen durch die Diskussion zu einem Konsens über Gefahren und Nutzen von Mikrowellenstrahlung kommen.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen erkennen, dass in der Wissenschaft noch kein endgültiges Forschungsergebnis zur Gefahr von Mobilfunkstrahlung für den Menschen erreicht wurde.

5.2 Ausgangsmaterial

In diesem Kapitel wird die Gestaltung des Lehrmaterials beschrieben und die einzelnen Aufgaben erklärt. Da die Unterrichtseinheit aus zwei Schulstunden besteht, wird im Folgenden zwischen dem Material der ersten und dem Material der zweiten Unterrichtsstunde unterschieden.

Bei der Entwicklung der Einheit wurde großer Wert auf Schülerinnen- und Schülerzentrierung gelegt. Für die erste Stunde wurde eine Arbeitsmappe mit unterschiedlichen Aufgaben zum Thema „Mikrowellenstrahlung“ erstellt, die in Forschungsgruppen bearbeitet werden soll. In der zweiten Stunde wird eine Diskussionsrunde zum Thema „Gefahren und Nutzen von Mobilfunkstrahlung“ stattfinden. Dafür wurden rollen-spezifische Kärtchen mit Informationen erstellt, die den Schülerinnen und Schülern als Grundlage für die Diskussion dienen sollen.

5.2.1 Erste Unterrichtsstunde

Die Arbeitsmappe „Mikrowellenstrahlung“ besteht aus zwei Teilen – der Einführung zur elektromagnetischen Strahlung und dem Teil „Experimentieren mit Mikrowellen“, bei dem in Form eines Stationenbetriebs drei Versuche zur Mikrowellenstrahlung durchgeführt werden.

Für das Material wurden selbst entworfene *Icons* mit unterschiedlichen Funktionen kreiert. Das Auge deutet auf eine Übung hin, bei der das Lesen eines Textabschnittes gefordert wird. Der Stift wird als Symbol dafür verwendet, wenn die Schülerinnen und Schüler aufgefordert sind, etwas zu schreiben. Das Becherglas in Kombination mit dem Thermometer weist auf ein Experiment hin. Die Glühbirne deutet auf zusätzlich angeführte Informationen hin, die für die durchzuführenden Aufgaben von Bedeutung sind.

Zusätzlich zur Arbeitsmappe wurden gestufte Lernhilfen entwickelt (vgl. Kap. 3.3), die als Hilfestellung bei etwaigen Schwierigkeiten bezüglich des Lösens der Aufgaben herangezogen werden können. In der linken oberen Ecke befindet sich die Nummer des Tipps, also ob es sich um den ersten, zweiten oder dritten Tipp der Lernhilfe handelt, mittig und fett hervorgehoben ist der Titel, der die Zugehörigkeit der Hinweise angibt, wodurch zwischen den Aufgaben und Stationen unterschieden werden kann, und anschließend folgt der ausformulierte Tipp (vgl. Abb. 5.2). Das Design der Lernhilfen ist angelehnt an die Arbeitsmappe.
In den folgenden Abschnitten werden die gestuften Lernhilfen, mit ein paar Ausnahmen, in schriftlicher Form dargestellt. Das bedeutet, dass auf die Einfügung der Grafiken der Lernhilfen weitgehend verzichtet wird und zu den jeweiligen Aufgaben und Forschungsstationen eine Verschriftlichung der Inhalte der einzelnen Tipps dargestellt wird.

Tipp Nr. 1

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Unterstreiche mit deiner Partnerin/deinem Partner die Abschnitte im Text zu elektromagnetischer Strahlung, die ihr als besonders wichtig erachtet!

Abbildung 5.2: Ein Beispiel eines Tipps einer gestuften Lernhilfe

5.2.1.1 Einführungstext zu elektromagnetischer Strahlung

Zu Beginn soll den Schülerinnen und Schülern in Form eines Einführungstextes mit anschließender Übung näher gebracht werden, was elektromagnetische Strahlung ist. Der Text über elektromagnetische Strahlung wurde aus der Diplomarbeit von Zloklikovits (2016) übernommen und entsprechend überarbeitet.

Als Basis des Einführungstextes fungiert die Grundidee, an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler anzuknüpfen und ihnen die elektromagnetische Strahlung und, im Besonderen, die Mikrowellenstrahlung anhand bekannter Konzepte, wie sichtbares Licht und Infrarotstrahlung, näher zu bringen. Des weiteren wird darauf eingegangen, dass es unterschiedliche Arten der elektromagnetischen Strahlung gibt, die sich in ihrer Wirkung und Erscheinungsart unterscheiden. Dabei werden Mikrowellen-, Infrarot-, UV- und Röntgenstrahlung, sowie sichtbares Licht angeführt.
Die Wellenlänge wird als physikalische Größe eingeführt, durch die die Einteilung der Strahlungsarten am elektromagnetischen Spektrum erfolgt. Es wird bewusst keine weitere Größe angeführt, denn in dieser Stunde soll der Fokus auf diese eine neue Begrifflichkeit gelegt werden, wie in Kapitel 3.2.2 angeführt wurde.

Der Text wurde in Abschnitte eingeteilt und gewisse Begriffe fett hervorgehoben, um das Format optisch ansprechender zu gestalten und dadurch die Leseverständlichkeit zu fördern (vgl. Abb. 5.3). Laut Schulz von Thun (1975) ist ein Text, je besser er gegliedert ist, umso leichter zu verstehen.

1. In der ersten Textpassage geht es um die Definition der elektromagnetischen Strahlung, sowie die Vorstellung verschiedener Arten der Strahlung, die sogleich in sichtbare und unsichtbare Strahlung zusammengefasst werden.

2. Im zweiten Abschnitt wird des elektromagnetischen Spektrum eingeführt, das zur Einteilung der Strahlungsarten bezüglich ihrer Wirkung dient.

3. Der dritte Absatz befasst sich mit unterschiedlichen Wirkungen bekannter sichtbarer

1. Elektromagnetische Strahlung – Was ist das genau?

Lies dir folgenden Text zu elektromagnetischer Strahlung durch:

Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, werden als **elektromagnetische Strahlung** bezeichnet. Man unterscheidet dabei verschiedene Arten von elektromagnetischer Strahlung. Die sichtbare Strahlung, auch „sichtbares Licht" genannt, ist dir sicher bekannt. Andere Strahlungsarten wie Mikrowellen-, Infrarot-, UV- und Röntgenstrahlung sind Teil der unsichtbaren Strahlung.

Die verschiedenen Formen der Strahlung teilt man auf Grund ihrer unterschiedlichen Wirkungen ein. Diese Einteilung erfolgt über das **elektromagnetische Spektrum** (siehe Abbildung).

Sichtbare Strahlung ist die einzige Strahlung, die wir Menschen mit unseren Augen wahrnehmen können und die somit für uns sichtbar ist.

Unsichtbare Strahlung können wir nicht sehen, teilweise jedoch fühlen.

Die wärmende Wirkung der Infrarotstrahlung können wir mit unserer Haut spüren. Infrarotstrahlung wird von Gegenständen auf Grund ihrer Temperatur emittiert (emittieren = aussenden). Auch du emittierst Infrarotstrahlung!

Die physikalische Größe, die für die unterschiedlichen Wirkungen und damit für die verschiedenen Strahlungsarten verantwortlich ist, ist die sogenannte Wellenlänge λ („lambda"). Jede Art der elektromagnetischen Strahlung wird durch einen bestimmten Wellenlängenbereich definiert.

Heute wirst du einiges über **Mikrowellenstrahlung** erfahren. Die Wellenlängen von Mikrowellen liegen im Bereich von 1m bis 1mm. Mikrowellenstrahlung wird z.B. zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen, zur Kommunikation mit Handy oder WLAN und fürs Satellitenfernsehen eingesetzt.

Abbildung 5.3: Der Einführungstext zu elektromagnetischer Strahlung

und unsichtbarer Strahlungsarten.

4. Im vierten Textabschnitt wird die Wellenlänge als physikalische Größe zur Unterscheidung der Strahlungsarten, sowie deren Wirkungen eingeführt.

5. Im letzten Absatz wird spezifisch auf die Mikrowellenstrahlung als Themenschwerpunkt der folgenden Unterrichtseinheit eingegangen.

Die Abbildung des elektromagnetischen Spektrums wurde, ausgehend von der Grafik von Zloklikovits (2016), entsprechend überarbeitet, sodass die grafischen Darstellungen der unterschiedlichen Wellenlängen der Strahlungsarten deutlich erkennbar und voneinander abgegrenzt sind (vgl. Abb. 5.4). Ebenso wurde die Einteilung, die Position und das Größenverhältnis der verschiedenen Arten der Strahlung visualisiert (vgl. Abb. 5.4). Die Formen nicht sichtbarer Strahlung wurden farblich hervorgehoben, wodurch eine Unterscheidung zur sichtbaren Strahlung erreicht wurde (vgl. Abb. 5.4).

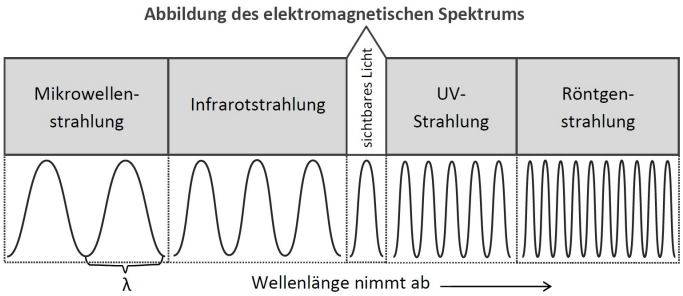
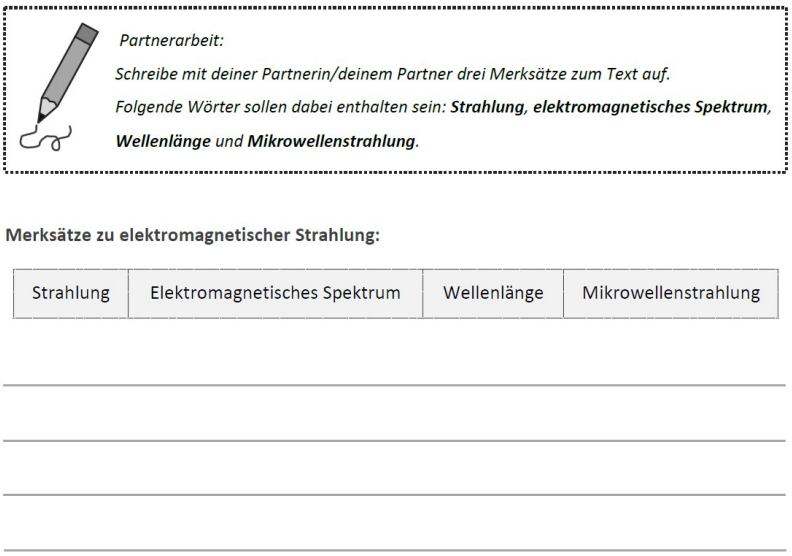


Abbildung 5.4: Die Abbildung des elektromagnetischen Spektrums

5.2.1.2 Merksätze bilden

Um die Lesekompetenz mit der Schreibkompetenz zu verknüpfen, wurde angedacht, dass die Schülerinnen und Schüler den Text in Partnerarbeit anhand vorgegebener Begriffe zusammenfassen sollen (vgl. Abb. 5.5). Hierfür wurden vier Ausdrücke ausgewählt (Strahlung, elektromagnetisches Spektrum, Wellenlänge, Mikrowellenstrahlung), mit denen die Schülerinnen und Schüler drei Merksätze verfassen sollen. Damit die Schülerinnen und Schüler nicht vergessen, die Wörter in die Merksätze einzubauen, wurden die Begriffe vor den Zeilen, die zur Formulierung der Merksätze dienen sollen, nochmal eigens angeführt (vgl. Abb. 5.5).
Ziel dieser Aufgabe ist es, das sinnerfassende Lesen zu fördern und sicherzustellen, dass die Schülerinnen und Schüler die wesentlichen Inhalte des Textes verschriftlicht haben. Durch die vorgegebene Anzahl von vier Begriffen und die Aufgabe der Formulierung von drei Merksätzen soll dem bloßen Abschreiben der Infos aus dem Text entgegengewirkt und die Eigeninitiative der Schülerinnen und Schüler angeregt werden.

Zur Aufgabe „Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung“ wurden drei Hinweise als gestufte Lernhilfe gestaltet, die von den Schülerinnen und Schülern verwendet werden sollen,


Partnerarbeit:
Schreibe mit deiner Partnerin/deinem Partner drei Merksätze zum Text auf.
Folgende Wörter sollen dabei enthalten sein: ***Strahlung, elektromagnetisches Spektrum, Wellenlänge*** *und* ***Mikrowellenstrahlung****.*

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Strahlung	Elektromagnetisches Spektrum	Wellenlänge	Mikrowellenstrahlung

Abbildung 5.5: Die Aufgabe zur Bildung von Merksätzen

wenn sie Hilfe bei der Bearbeitung des geforderten Arbeitsauftrags benötigen. Der erste Hinweis dient der Schaffung eines Überblicks:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Unterstreiche mit deiner Partnerin/deinem Partner die Abschnitte im Text zu elektromagnetischer Strahlung, die ihr als besonders wichtig erachtet!*

Der nächste Hinweis verknüpft die Bereiche, die den Schülerinnen und Schülern als wichtig erscheinen, mit der Aufgabenstellung, die vier Begriffe für die Formulierung der Merksätze zu verwenden:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Überprüfe, ob in den unterstrichenen Passagen folgende Wörter vorkommen: Strahlung, elektromagnetisches Spektrum, Wellenlänge und Mikrowellenstrahlung.*

Als dritte Stufe folgt eine Zusammenführung der Hinweise aus den ersten beiden Tipps, durch die die Schülerinnen und Schüler in der Lage sein sollten, die Merksätze zu bilden:

> ***Tipp Nr. 3:*** *Versucht mit Hilfe der unterstrichenen Abschnitte aus dem Text und den Wörtern auf Seite 2 drei Sätze zu bilden. Sind darin alle wichtigen Informationen enthalten?*

5.2.1.3 Experimentieren mit Mikrowellen

Als Einführung in den zweiten Teil der Stunde, dem „Experimentieren mit Mikrowellen“, wurde ein kurzer Absatz zum weiteren Vorgehen und den geplanten Experimenten verfasst (vgl. Abb. 5.6). Wie zuvor in 5.2.1 erwähnt, wurden eigene *Icons* erstellt, die an bestimmten Stellen in der Arbeitsmappe zum Einsatz kommen. Da es im zweiten Teil der Stunde um

Experimente geht, wurde dementsprechend das Symbol des Becherglases und des Thermometers in das Kästchen eingefügt (vgl. Abb. 5.6). An dieser Stelle wurden die Zusatz-Info Kästchen erwähnt, in denen sich wichtige Informationen zur Lösung der Aufgaben der einzelnen Forschungsstationen befinden.
Dieser Abschnitt soll den Schülerinnen und Schülern Einblick in den weiteren Verlauf der Stunde bieten und als kleine Einleitung zu den Forschungsstationen für den Stationenbetrieb fungieren.

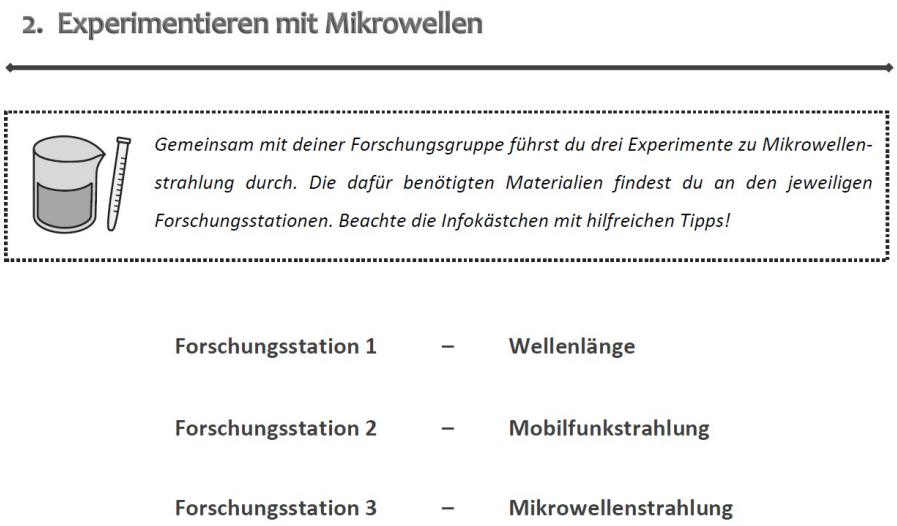


Abbildung 5.6: Die Einleitung zum Experimentieren mit Mikrowellen

Forschungsstationen
Die Forschungsstationen wurden in einer einheitlichen Formatierung entwickelt. Dies soll den Schülerinnen und Schülern den Umgang mit dem Material erleichtern und für einen roten Faden sorgen, der sich durch die Arbeitsblätter der drei Forschungsstationen zieht.

Zu Beginn wird in einer kurzen Einführung das Thema der jeweiligen Forschungsstation und des durchzuführenden Experiments erklärt. Anschließend folgt die Liste der benötigten Materialien, sowie die Versuchsanleitung. Hierbei wurde auf die farbliche Abhebung des Kästchens zur Durchführung des Versuchs geachtet, um optisch eine Unterscheidung zum Rest des Arbeitsblattes zu bewirken. Anschließend folgen Arbeitsaufträge an die Schülerinnen und Schüler, die je nach Forschungsstation entsprechend angeführt und beschrieben werden. Zusätzlich befinden sich auf den Arbeitsblättern für jede Station Kästchen mit Zusatz-Informationen, die hilfreiche Anmerkungen beinhalten.

Zu jeder Forschungsstation wurden gestufte Lernhilfen entwickeln, die von den Schülerinnen und Schülern bei aufkommenden Problemen verwendet werden sollen. Je nach Station gibt es entweder eine oder mehrere Lernhilfen, auf der sich jeweils drei Tipps befinden.

5.2.1.4 Erste Forschungsstation

Die erste Forschungsstation behandelt Mikrowellen einer Strahlungsquelle, die die Schülerinnen und Schüler aus dem Alltag kennen – dem Mikrowellenofen. Insbesondere geht es bei dieser Station um die experimentelle Ermittlung der Wellenlänge der Mikrowellen des Mikrowellenofens, weshalb „Wellenlänge“ als Titel der Station gewählt wurde (vgl. Abb. 5.7). Durch diesen Versuch soll den Schülerinnen und Schülern das Konzept der Wellenlänge näher gebracht werden und Bezug zum Einführungstext hergestellt werden. Ziel ist es ebenso, eine Verknüpfung zwischen den in der Praxis gewonnenen Beobachtungen und der Theorie zu schaffen.

Forschungsstation 1 – Wellenlänge

Wie du aus dem Text zu elektromagnetischer Strahlung weißt, wird Mikrowellenstrahlung zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen eingesetzt. Die erzeugten Mikrowellen besitzen eine bestimmte **Wellenlänge λ**, die du ermitteln wirst.

Abbildung 5.7: Der Einführungstext zur ersten Forschungsstation

Der Versuch zur Ermittlung der Wellenlänge der Mikrowellen wurde zur Optimierung etliche Male mit verschiedenen Sorten von Schokolade durchgeführt, bevor die ideale Schokolade, sowie die passende Zeit und Watt-Einstellung für einen erfolgreichen Ausgang des Versuchs gefunden wurden. Anfänglich wurde probiert, Schokoladen mit Füllung zu erwärmen, wodurch jedoch keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt wurden, da sich die Schokolade flächig erwärmt hatte und keine sichtbaren „Hot Spots“ zu erkennen waren. Diesbezüglich sei auf die Kurzanleitung für Lehrpersonen zu verweisen (siehe 7.3.3), in der beschrieben wird, dass Koch- bzw. Back-Schokolade für den Versuch verwendet werden soll. Ebenfalls angeführt wird dort, dass die Lehrperson die Vorrichtung, die dem Drehen des Tellers dient, aus dem Mikrowellenofen entfernen soll.

Bei der Anleitung zum Versuch wurde darauf geachtet, klare Formulierungen zu wählen, verschachtelte Sätze zu vermeiden und den Schülerinnen und Schülern präzise Anweisungen zu geben (vgl. Abb. 5.8). Laut Meyer (2010) sind klare Strukturen und inhaltliche Klarheit für das Schaffen von gutem Unterricht unabdingbar. Es wurde besonderen Wert darauf gelegt, dass die Anweisungen logisch aufeinander aufbauen und nach der Reihe angeführt werden (Schulz von Thun, 1975). Ebenso wurden Absätze zur übersichtlichen Darstellung eingefügt (vgl. Abb. 5.8).

Das 1. Zusatz-Info Kästchen – bei dieser Station gibt es zwei, ansonsten jeweils nur eines – liefert Informationen zu der Entstehung von „Hot Spots“ und den Orten, an denen sie auftreten (vgl. Abb. 5.8). Zusätzlich wurde eine Sinus-Kurve erstellt, auf der die Wellenlänge λ, sowie Wellenberg und Wellental eingezeichnet wurden. Neben der Überschrift „1. Zusatz-Info“ befindet sich ein Glühbirnen-Symbol, das auf hilfreiche Informationen hindeutet, wie in 5.2.1 schon beschrieben wurde.

Material:	Mikrowellenofen, Schokolade, Teller, Stoppuhr, Lineal
Anleitung:	Packe die Schokolade aus der Folie aus und leg sie in die Mitte des Tellers. Platziere den Teller im hinteren Bereich des Mikrowellenofens und schalte diesen bei 600 W für 45 Sekunden ein. Miss die Zeit mit einer Stoppuhr. Nimm den Teller aus dem Mikrowellenofen und miss mit dem Lineal den Abstand zwischen den geschmolzenen „Hot Spots“ auf der Schokolade. Notiere dir den Wert.

1. Zusatz-Info:

„Hot Spots“ treten an Wellenbergen und -tälern auf. Dort ist die Schwingung der Mikrowelle und somit die Energie am größten. Der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“ ist als die halbe Wellenlänge $\lambda/2$ definiert.

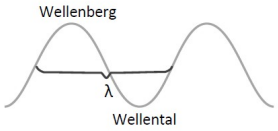


Abbildung 5.8: Die Versuchsanleitung und die 1. Zusatz-Info zur ersten Forschungsstation

Falls den Schülerinnen und Schülern der Ablauf des Experiments trotz Anleitung unklar ist, schafft die entsprechende gestufte Lernhilfe Abhilfe. Der erste Hinweis gibt Aufschluss über die Platzierung des Tellers im Mikrowellenofen:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Achte bei der Platzierung des Tellers mit der Schokolade im Mikrowellenofen darauf, dass sich der Teller mittig und im hinteren Bereich der Mikrowelle befindet. Dort erhält man gut sichtbare „Hot Spots“.*

Der zweite Tipp behandelt das Messen des Abstandes zwischen den geschmolzenen Stellen:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Um den Abstand zwischen den „Hot Spots“ zu messen, orientiere dich an den geschmolzenen Stellen. Miss mit einem Lineal vom Mittelpunkt eines „Hot Spots“ zum Mittelpunkt eines anderen „Hot Spots“.*

Als letzter Hinweis folgt eine ungefähre Angabe des Wertebereichs, in dem das Ergebnis liegen sollte:

> ***Tipp Nr. 3:*** *Der von dir und deiner Forschungsgruppe gemessene Wert, also der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“, sollte zwischen 6 cm und 7 cm liegen.*

Neben dem Auftrag aus der Versuchsanleitung, den Wert aus der Messung des Abstands zwischen den geschmolzenen Stellen, den „Hot Spots“, zu notieren, folgen nun weitere Arbeitsanweisungen zur Bearbeitung der Forschungsstation. Wie zuvor in 5.2.1 erwähnt, wurde das *Icon* des Stiftes eingefügt, das die Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam machen soll, dass sie an diesen Stellen etwas schreiben sollen.

Bei der ersten Übung werden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, anhand des Ergebnisses der Abstandsmessung aus dem Experiment, die Wellenlänge λ der Mikrowellen

zu ermitteln (vgl. Abb. 5.9). Die dafür nötigen Informationen befinden sich auf dem Arbeitsblatt, genauer gesagt, sollten die Schülerinnen und Schüler diese Aufgabe durch Lesen der Informationen des Zusatz-Info Kästchens lösen können.

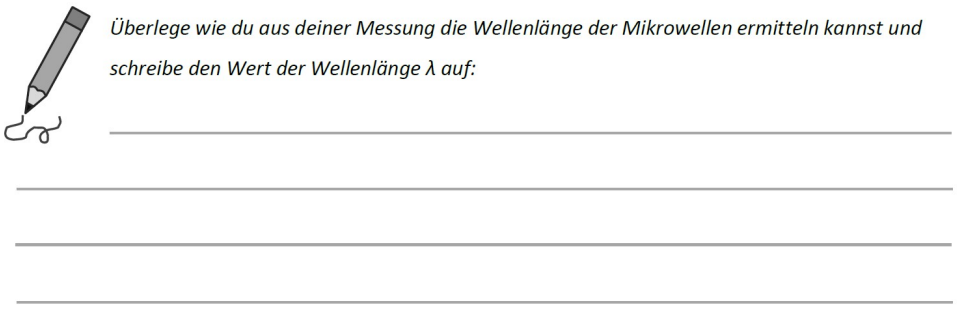


Abbildung 5.9: Der erste Arbeitsauftrag zur ersten Forschungsstation

Sollten weitere Tipps zur Lösung der Aufgabe (vgl. Abb. 5.9) benötigt werden, kann die gestufte Lernhilfe „Wellenlänge aus Experiment ermitteln“ zur Hand genommen werden. Der erste Tipp der gestuften Lernhilfe zur Ermittlung der Wellenlänge verweist auf das 1. Zusatz-Info Kästchen:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des 1. Zusatz-Info Kästchens durch. Könnt ihr mit diesen Informationen den Wert der Wellenläge λ ermitteln?*

Der zweite Hinweis reformuliert die Informationen des 1. Zusatz-Info Kästchens:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Die „Hot Spots“ sind sehr heiße Stellen, die an Wellenbergen und Wellentälern auftreten. Du hast den Abstand zwischen den „Hot Spots“ auf der Schokolade gemessen und dieser Wert ist die Hälfte der Wellenlänge λ.*

Als letzter Hinweis folgt die genaue Anleitung, um das Ergebnis zu erhalten:

> ***Tipp Nr. 3:*** *Der von dir und deiner Forschungsgruppe gemessene Wert, also der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“, muss mit 2 multipliziert werden. Dann erhaltet ihr die Wellenlänge der Mikrowellen des Mikrowellenofens.*

Die zweite Aufgabe behandelt das Einzeichnen der halben Wellenlänge $\frac{\lambda}{2}$ und der „Hot Spots“ auf einer vorgegebenen Sinus-Kurve (vgl. Abb. 5.10). Durch diese Aufgabe soll der grafische Zusammenhang zwischen der Wellenlänge λ, den Entstehungsorten von „Hot Spots“ und deren Abstand zueinander, also $\frac{\lambda}{2}$, geschaffen werden. Um diese Aufgabe lösen zu können, ist es erforderlich die 1. Zusatz-Info zu lesen (vgl. Abb. 5.8).

Zusätzlich wurde auch für diese Übung eine gestufte Lernhilfen entwickelt. Der erste Hinweis der gestuften Lernhilfen verweist auf die 1. Zusatz-Info:

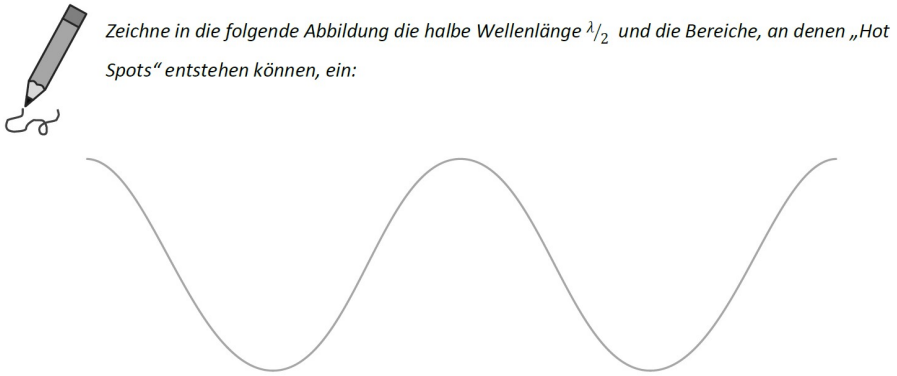


Abbildung 5.10: Der zweite Arbeitsauftrag zur ersten Forschungsstation

> ***Tipp Nr. 1:*** *Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des 1. Zusatz-Info Kästchens durch. Könnt ihr mit diesen Informationen die Abbildung korrekt beschriften?*

In der zweiten Stufe werden die Informationen aus dem Zusatz-Info Kästchen mit anderen Worten formuliert:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Die „Hot Spots“ werden an derselben Stelle eingezeichnet, wie die Wellenberge bzw. -täler. Die halbe Wellenlänge wird als der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“ definiert.*

Zuletzt folgt eine Skizze, wie die korrekte Beschriftung der Abbildung aussehen könnte:

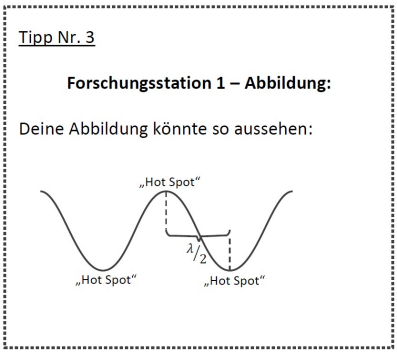


Abbildung 5.11: Der letzte Tipp der gestuften Lernhilfe zur Beschriftung der Abbildung

Der dritte Arbeitsauftrag verbindet die Praxis mit der Theorie, denn es soll der ermittelte Wert für die Wellenlänge λ rechnerisch überprüft werden (vgl. Abb. 5.12). Die Schülerinnen und Schüler sind aufgefordert, den Wert der Frequenz des Mikrowellenofens zu notieren und die in Abb. 5.12) angeführte Formel entsprechend umzuformen, um die Wellenlänge λ berechnen zu können (vgl. Abb. 5.12). Die in der Formel vorkommenden physikalischen Größen werden in der Beschreibung der Aufgabe angeführt und in der 2. Zusatz-Info (vgl. Abb. 5.13) genauer erklärt.

Überprüfe, ob du mit deinem Ergebnis für die Wellenlänge λ der Mikrowellen des Mikrowellenofens richtig liegst!

Auf der Rückseite des Mikrowellenofens steht die Frequenz *f*. Notiere dir den Wert.

Die Frequenz *f*, die Ausbreitungsgeschwindigkeit *c* und die Wellenlänge *λ* werden durch diese **Formel** beschrieben: $\boldsymbol{f} = \frac{c}{\lambda}$

Forme die Gleichung um und berechne die Wellenlänge λ:

Abbildung 5.12: Der dritte Arbeitsauftrag zur ersten Forschungsstation

Für diese Aufgabe wurde eine weitere Zusatz-Info erstellt, durch die die Frequenz f und die Lichtgeschwindigkeit c eingeführt und beschrieben werden (vgl. Abb. 5.13).

2. Zusatz-Info:

Die Frequenz *f* ist eine physikalische Größe und gibt die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit an. Die Einheit ist Hertz (Hz).

Die Lichtgeschwindigkeit *c* beträgt 300.000.000 m/s.

Abbildung 5.13: Die zweite Zusatz-Info zur ersten Forschungsstation

Falls Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Aufgabe entstehen, kann auf die gestufte Lernhilfe „Wellenlänge berechnen“ zurückgegriffen werden. Der erste Hinweis weist auf das Lesen der 2. Zusatz-Info hin:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des 2. Zusatz-Info Kästchens durch. Könnt ihr mit diesen Informationen den Wert der Wellenläge λ berechnen?*

Der zweite Hinweis dient der Überprüfung der notierten Werte:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Kontrolliere, ob der Wert der Frequenz f korrekt vom Mikrowellenofen notiert ist. Schreibe dir diesen Wert und den Wert für c auf und setze die Werte in die Formel ein. Forme die Gleichung nach λ um.*

Falls das Umformen der Gleichung Schwierigkeiten bereitet, folgt in der letzten Stufe die Darstellung der umgeformten Gleichung:

> ***Tipp Nr. 3:*** *Die Wellenlänge λ ist die Lichtgeschwindigkeit c dividiert durch die Frequenz f. Die umgeformte Gleichung sollte also so aussehen:* $\lambda = \frac{c}{f}$ *. Setze die Werte für c und f ein und berechne dir λ!*

5.2.1.5 Zweite Forschungsstation

Bei der zweiten Forschungsstation geht es um Versuche zu den Eigenschaften von Mikrowellenstrahlung bei Interaktion mit Materie. Wie aus dem Titel herauszulesen ist, handelt es sich dabei um Versuche zu Mobilfunkstrahlung (vgl. Abb. 5.14). Das Symbol des Becherglases und des Thermometers deutet, wie zuvor, auf die Durchführung eines Versuchs hin (vgl. Abb. 5.14).

Forschungsstation 2 – Mobilfunkstrahlung

Mikrowellenstrahlung kann, wie jede Art von elektromagnetischer Strahlung, durch gewisse Materialien abgeschirmt werden. Im folgenden Versuch wirst du mit deinem Forschungsteam ermitteln, wie sich Mikrowellenstrahlung in Verbindung mit unterschiedlichen Materialien verhält.

Abbildung 5.14: Der Einführungstext zur zweiten Forschungsstation

Für das Experiment wurde vorweg nach Materialien gesucht, die Mobilfunkstrahlung abschirmen – also reflektieren – oder transmittieren. Zur Transmission von Mobilfunkstrahlung wurden genügend Materialien gefunden, weshalb bei der Auswahl an Materialien für den Versuch der Aspekt der einfachen und preisgünstigen Beschaffung ins Auge gefasst wurde. In der Kurzanleitung für Lehrpersonen (siehe 7.3.3) wird beschrieben, wie die ausgewählten Materialien besorgt werden können.
Die Suche bezüglich Materialien zur Abschirmung von Mobilfunkstrahlung hat sich etwas schwierig gestaltet. Alufolie hat sich als Material angeboten, sollte jedoch nicht das einzige Material bleiben, um die Reflexion von Strahlung zu veranschaulichen. Nach eingängiger Recherche und Kontaktaufnahme mit einem Unternehmen wurden einige Produktmuster für Unterrichtszwecke zur Verfügung gestellt, worunter sich die Silbergitter-Folie und das Edelstahlgewebe befanden. Diese Produkte können online zu einem geringen Preis erworben werden, und es würde sich auf jeden Fall auszahlen, diese Investition zu tätigen. Neben diesen Produkten wurden keine vergleichbaren Materialien zur erfolgreichen Abschirmung von Mobilfunkstrahlung gefunden.

Wie zuvor bei der ersten Forschungsstation wurde bei der Erstellung der Versuchsanleitung besonders Wert auf klare Formulierungen und Strukturiertheit gelegt (vgl. Abb. 5.15). Bei der Auflistung der Materialien wurde bewusst „Zwei Handys bzw. *Smartphones*“ geschrieben, damit der in unserer Alltagssprache weitverbreitete Begriff *Smartphone* angeführt wird (vgl. Abb. 5.15). Die heutzutage im Handel erhältlichen Handys, die nahezu ausschließlich einen Touch-Screen aufweisen, besitzen weitaus umfangreichere, Computerähnliche Funktionen als frühere Modelle von Mobiltelefonen und gelten deshalb als *Smartphones* – also „schlaue Telefone“ (Wikipedia, 2018).
Speziell bei dieser Station war das Verfassen der Versuchsanleitung kein einfaches Unterfangen, da die Anleitung nicht zu lang und kompliziert werden sollte, jedoch alle wesentlichen Punkte zur erfolgreichen Durchführung angeführt werden sollten. Dies stellte sich

Material:	Zwei Handys bzw. Smartphones, Box aus Kunststoff, Kartonschachtel, Alufolie, Zwei Keramiktöpfe, Silbergitter-Stoff, Edelstahlgewebe
Anleitung:	Teste alle Materialien auf ihre Eigenschaften bei Interaktion mit Mobilfunkstrahlung. Ein Handy musst du dafür vollständig mit dem jeweiligen Material umgeben. Achte dabei darauf, dass das Handy von allen Seiten mit Material bedeckt ist. Anschließend rufst du es mit dem anderen Handy an. Notiere deine Beobachtungen und überlege dir eine Erklärung.

Zusatz-Info:

Die emittierte Mikrowellenstrahlung von Mobiltelefonen, nennt man **Mobilfunkstrahlung**.

Handys kommunizieren über Mikrowellen. Also wird bei abgehenden und einkommenden Anrufen Mikrowellenstrahlung emittiert.

Abbildung 5.15: Die Versuchsanleitung und Zusatz-Info zur zweiten Forschungsstation

deshalb als Schwierigkeit dar, da bei der Testung der jeweiligen Materialien das vollständige Umgeben des Mobiltelefons mit Material für den korrekten Ausgang des Experiments ausschlaggebend ist. Es darf kein Millimeter des Handys frei bzw. „ungeschützt“ bleiben, denn sonst kann es passieren, dass die Mobilfunkstrahlung, trotz des Abdeckens mit reflektierendem Material, durchkommt und der Anruf an das jeweilige Mobiltelefon funktioniert.

Die Zusatz-Info soll den Schülerinnen und Schülern den Begriff „Mobilfunkstrahlung“ näher erläutern, da diese Form der Mikrowellenstrahlung zuvor noch nicht erwähnt wurde und somit neu eingeführt wird (vgl. Abb. 5.15).

In die folgende Tabelle sollen die Schülerinnen und Schüler die Beobachtungen eintragen, die sie während der Testungen der einzelnen Materialien gemacht haben (vgl. Abb. 5.16). Die Materialien wurden dafür in der gleichen Reihenfolge wie in der Material-Auflistung in Abb. 5.15 angeführt und die Spalten der Materialien wurden farblich von den Spalten, in die die Beobachtungen notiert werden sollen, abgehoben. Das Symbol des Stiftes deutet wieder darauf hin, dass die Schülerinnen und Schüler etwas schreiben sollen (vgl. Abb. 5.16).

Was konntest du beobachten?

Kunststoff:	
Karton:	
Alufolie:	
Keramik:	
Silbergitter-Stoff:	
Edelstahlgewebe:	

Abbildung 5.16: Die Tabelle zur Eintragung der Beobachtungen

Die nächste Arbeitsanweisung dient der Erklärung der aus den Beobachtungen gewonnenen Erkenntnisse (vgl. Abb. 5.17). Die Schülerinnen und Schüler sind aufgefordert, die Zusammenhänge zwischen den Materialien und den entsprechenden Beobachtungen zu erkennen und aufzuschreiben.

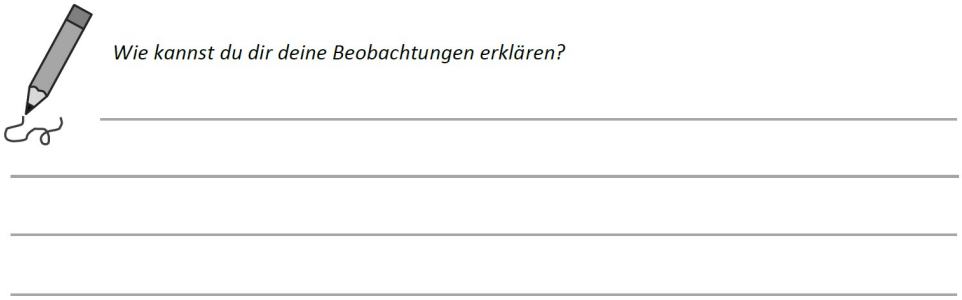


Abbildung 5.17: Der Auftrag zur Erklärung der Beobachtungen

Es wurde eine gestufte Lernhilfe erstellt, die die Bearbeitung der gestellten Arbeitsaufträge erleichtern soll. Bei Schwierigkeiten können die Schülerinnen und Schüler auf die Lernhilfe „Experiment und Beobachtung“ zurückgreifen.
Der erste Hinweis betrifft die Durchführung des Versuchs. Im Speziellen geht es dabei um die Materialien, bei denen bei der Testung am ehesten damit gerechnet wird, dass die Schülerinnen und Schüler auf Schwierigkeiten treffen werden:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Wickle die Folien bzw. Stoffe (Alufolie, Silbergitter-Stoff und Edelstahlgewebe) zwei Mal um das Mobiltelefon! Achte darauf, dass die beiden Keramiktöpfe abschließen. Lege das Handy in den Größeren und stelle den Kleineren kopfüber darauf.*

Der zweite Tipp führt mögliche Beobachtungen an:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Notiere in die zugehörigen Kästchen, was du bei den Versuchen beobachten konntest. Mögliche Beobachtungen: Mobilfunkstrahlung wird transmittiert (durchgelassen), oder reflektiert (zurückgeworfen).*

Als letzte Stufe werden zu den jeweiligen Beobachtungen folgende Erklärungen angeführt:

> ***Tipp Nr. 3:*** *Erklärung der Beobachtungen: Mobilfunkstrahlung wird bei Interaktion mit Karton, Kunststoff und Keramik transmittiert. Mobilfunkstrahlung wird bei Interaktion mit Alufolie, Silbergitter-Stoff und Edelstahlgewebe (i.A. Metallen) reflektiert.*

5.2.1.6 Dritte Forschungsstation

Als dritte und letzte Forschungsstation wurde ein Experiment zur Absorption, Transmission und Reflexion von Mikrowellenstrahlung geplant (vgl. Abb. 5.18). Für diesen Versuch

wird der Mikrowellenofen erneut als Quelle zur Erzeugung der Mikrowellenstrahlung verwendet und die Station trägt den Titel „Mikrowellenstrahlung“ (vgl. Abb. 5.18).

Im Experiment zur Mobilfunkstrahlung ging es bereits um die Reflexion und Transmission von Mikrowellenstrahlung, jedoch wurde die Absorption dabei noch nicht erwähnt und die Strahlungsquelle war eine andere. Bei der ersten Forschungsstation entstanden die geschmolzenen Bereiche auf der Schokolade zwar durch Absorption, es wurde jedoch bei keinem der gestellten Arbeitsaufträge näher darauf eingegangen, weil der Fokus dieser Station auf der Wellenlänge gelegen hatte. Somit wurde angedacht, dass das Thema der dritten Forschungsstation die Eigenschaften der Mikrowellenstrahlung behandeln soll (vgl. Abb. 5.18).

Forschungsstation 3 – Mikrowellenstrahlung

Der Mikrowellenofen wird im Alltag genutzt, um Lebensmittel zu erwärmen. Durch ein elektrisches Bauteil – ein Magnetron – werden Mikrowellen erzeugt, die sich im Innenraum ausbreiten. Mit deinem Forschungsteam führst du folgenden Versuch zu den Eigenschaften von Mikrowellenstrahlung durch.

Abbildung 5.18: Der Einführungstext zur dritten Forschungsstation

Die Gestaltung der Versuchsanleitung dieser Station basierte ebenso auf Grundkonzepten zur Strukturiertheit, Verständlichkeit, Gliederung und Ordnung (Meyer 2010; Schulz von Thun 1975). Durch klare Anweisungen, kurzgehaltene Sätze und eingefügte Absätze wurde darauf geachtet, dass die Anleitung zum Versuch von den Schülerinnen und Schülern verstanden und korrekt umgesetzt werden kann (vgl. Abb. 5.19).

Bei der Durchführung des Versuchs ist es besonders wichtig, dass die Alufolie beim Umwickeln des Glases alle Seiten des Glases abdeckt und eng am Glas anliegt, also nirgendwo absteht oder Ecken bzw. Kanten bildet (vgl. Abb. 5.19).

Material:	Mikrowellenofen, Zwei Gläser, Wasser, Alufolie, Thermometer
Anleitung:	Fülle beide Gläser halb mit Wasser und miss die Anfangstemperaturen. Notiere dir die Werte. Umhülle ein Glas vollständig mit Alufolie. Achte darauf, dass keine Kanten entstehen und die Oberfläche glatt bleibt. Stelle beide Gläser für 45 Sekunden bei höchster Stufe in den Mikrowellenofen. Miss die Endtemperaturen des Wassers beider Gläser erneut und notiere dir die Werte.

Abbildung 5.19: Die Versuchsanleitung zur dritten Forschungsstation

Es wurde eine Tabelle erstellt, in die die Temperaturwerte des Wassers beider Gläser zu Beginn und am Ende des Versuchs eingetragen werden sollen (vgl. Abb. 5.21). Hierfür wurde wieder das *Icon* des Stiftes eingefügt (vgl. Abb. 5.21). Alle beschrifteten Spalten wurden farblich hervorgehoben, die Bezeichnung „Wassertemperatur“ wurde zusätzlich fett

hervorgehoben und die Spalten, die zum Eintragen der Temperaturwerte vorgesehen sind, wurden um die Angabe der Temperatureinheit $°C$ ergänzt (vgl. Abb. 5.21).

Wassertemperatur	Glas ohne Alufolie	Glas mit Alufolie
Anfangstemperatur	°C	°C
Endtemperatur	°C	°C

Abbildung 5.20: Die Tabelle zur Eintragung der Temperaturwerte

Die Schülerinnen und Schüler sind anschließend aufgefordert, sich eine Erklärung für den Ausgang des Experiments zu überlegen und diese zu notieren (vgl. Abb. 5.21). Dadurch, dass das Symbol des Stiftes am Arbeitsblatt direkt über dem Arbeitsauftrag platziert ist (vgl. Abb. 5.20) und eindeutig erkennbar ist, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Erklärung aufschreiben sollen, wurde hier auf das erneute Einfügen des Stiftes verzichtet (vgl. Abb. 5.21).

Versuche gemeinsam mit deinem Forschungsteam eine Begründung für den Ausgang des Experiments zu formulieren:

Abbildung 5.21: Die Arbeitsaufträge zur dritten Forschungsstation

Die Zusatz-Info dieser Forschungsstation befindet sich am Ende des Arbeitsblattes, direkt unter der Aufgabe zur Begründung des Experiments, und beinhaltet Erklärungen zur Interaktion von Mikrowellenstrahlung mit verschiedenen Materialien bzw. Stoffgruppen.

Zusatz-Info:

Gewisse Stoffe **transmittieren** Mikrowellenstrahlung. Sie lassen Strahlung ungehindert durch. Andere Stoffe **absorbieren** Mikrowellenstrahlung. Dabei wird Strahlungsenergie in Wärmenergie umgewandelt. Eine weitere Stoffgruppe **reflektiert** Mikrowellenstrahlung, das Eindringen der Strahlung wird verhindert und sie wird zusätzlich reflektiert. Dabei gilt das Reflexionsgesetz: Der Einfallswinkel α ist gleich dem Ausfallswinkel β.

Abbildung 5.22: Die Zusatz-Info zur dritten Forschungsstation

Falls die Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung der Forschungsstation zusätzliche Informationen benötigen, kann auf die entsprechende gestufte Lernhilfe zurückgegriffen werden.

Der erste Hinweis bezieht sich auf die Durchführung des Experiments:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Achte beim Messen der Temperaturen darauf, dass das Thermometer vollständig von Wasser umgeben ist. Am besten platzierst du es in der Mitte des jeweiligen Glases. Notiert euch die exakten Werte!*

Der zweite Hinweis weist auf das Lesen des Zusatz-Info Kästchens hin, um den Ausgang des Versuchs erklären zu können:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des Zusatz-Info Kästchens durch. Könnt ihr mit diesen Informationen den Ausgang des Versuchs erklären?*

Als letzter Tipp folgt die Erklärung des Versuchs:

> ***Tipp Nr. 3:*** *Erklärung des Versuchs: Glas transmittiert Mikrowellenstrahlung. Wasser absorbiert Mikrowellenstrahlung. Alufolie reflektiert Mikrowellenstrahlung.*

5.2.2 Zweite Unterrichtsstunde

Die zweite Stunde der Unterrichtseinheit, die auf die Inhalte der ersten Stunde aufbaut, befasst sich mit Mobilfunkstrahlung. Im Genaueren geht es um die Frage nach Gefahren und Nutzen von Mobilfunkstrahlung, ein Thema, über das in der Wissenschaft noch keine endgültige Entscheidung gefällt wurde und worüber in wissenschaftlichen Studien widersprüchliche Ergebnisse zu finden sind. Zu diesem Thema wurde eine Diskussionsrunde geplant, in der die Lehrperson die Moderation übernimmt und die Schülerinnen und Schüler verschiedene Rollen einnehmen.
Für die Entwicklung des Materials dieser Stunde wurden fünf internationale, wissenschaftliche Studien ausgewählt, die die Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung auf den menschlichen Organismus erforscht haben (siehe Abschnitt 2.3.2). Die Wahl der Studien wurde durch zwei Artikel unterstützt, in denen der Zusammenhang zwischen Handystrahlung und Krebs vom wissenschaftlichen Standpunkt aus betrachtet wurde (Plotz, 2016, 2017a).
Die „Hard Facts“ der Studien, sowie weiterführende Informationen über und rund um Mobilfunkstrahlung (Mobilfunknetz, biologische Auswirkungen auf den Menschen, Strahlungsintensität, SAR-Wert, etc.) bilden die Grundlage für die Erstellung des Materials für die Diskussionsrunde (siehe Abschnitt 2.2 und 2.3). Es handelt sich dabei um Kärtchen, auf denen sich einerseits die Bezeichnung der jeweiligen Rolle befindet, die von den Schülerinnen und Schülern bei der Diskussion eingenommen wird – dabei wird zwischen Studienvertreterinnen und -vertretern, Expertinnen und Experten und Komitee-Mitgliedern unterschieden. Andererseits sind auf den Kärtchen, entsprechend der jeweiligen Rolle, Informationen und Arbeitsaufträge angeführt, durch die eine auf Fachwissen und Fakten basierende Diskussion zwischen den Schülerinnen und Schülern ermöglicht werden sollen. Bei der Erarbeitung dieser Infos wurde besonders Wert auf Formulierungen in schülerinnen-

und schülergerechter Sprache gelegt.

In den folgenden Abschnitten wird genauer auf die einzelnen Rollen, die Kärtchen, sowie die Informationen und Anweisungen, die sich darauf befinden, eingegangen.

5.2.2.1 Moderation

Als Moderatorin oder Moderator wird die Diskussionsrunde angeleitet und das Wort unter den Diskussionsteilnehmerinnen und -teilnehmern – also den Vertreterinnen und Vertretern der Studien, den Expertinnen und Experten und den Komitee-Mitgliedern – vergeben. Die Moderation sollte die Lehrkraft übernehmen, da die Leitung einer Diskussionsrunde für ungeübte Schülerinnen und Schüler leicht überfordernd sein kann. Für eine erfolgreiche Diskussion ist es notwendig, auf Gesagtes einzugehen, gekonnt die Aussagen unterschiedlicher Parteien wieder aufzugreifen und dadurch für neue Gesprächsimpulse zu sorgen (Mattes, 2006). Laut Mattes (2006) fordert die Leitung einer Diskussion auf Grund dieser Tatsachen ein hohes Maß an Gesprächsführungskompetenz.

Es wurden Kärtchen mit dem Titel „Moderator/in“ entwickelt, die als Anhaltspunkt für die Moderation dienen sollen und den Ablauf der Stunde in gegliederter Form aufweisen (vgl. Abb. 5.23). Auf den Moderatorin- oder Moderator-Kärtchen sind das Thema der Diskussionsrunde, sowie ein kurzer Ausblick auf das Ziel der Debatte angeführt (vgl. Abb. 5.23).

Moderator/in

- Diskussionsrunde mit Vertreter/innen verschiedener Studien zum Thema „Mobilfunkstrahlung – Gefahr oder Nutzen“
- Komitee objektiver Zuhörer/innen fällt am Ende Urteil
  - Infos sammeln, notieren und kategorisieren
  - Bei Unklarheiten Fragen an die Teilnehmer/innen stellen
- Ziel der Debatte
  - Einigung oder Kompromiss

Abbildung 5.23: Das erste Kärtchen der Moderation als Beispiel für ein Moderatorin- oder Moderator-Kärtchen

Des Weiteren ist angegeben, wie lange die Schülerinnen und Schüler für die Bearbeitung der Arbeitsaufträge Zeit haben und auf was sie dabei achten sollen. Als Beginn der Diskussion folgt eine kurze Einleitung seitens der Moderation zu den widersprüchlichen Ergebnissen wissenschaftlicher Forschung zum Thema „Gefahren und Nutzen von Mobilfunkstrahlung“ und im Speziellen zum Zusammenhang zwischen Mobilfunkstrahlung und Krebs. Dies soll den Schülerinnen und Schülern aufzeigen, dass es zum Thema unterschiedliche Ansichten und Meinungen gibt. Anschließend werden die Vertreterinnen und Vertreter der Studien

der Reihe nach gebeten, ihre Studie vorzustellen. Dabei wird eine offene Diskussion gewünscht, bei der die Moderatorin oder der Moderator die Aufgabe besitzt, die Schülerinnen und Schüler aktiv einzubinden. Es soll darauf geachtet werden, dass alle Expertinnen- und Experten-Informationen erwähnt werden und die Schülerinnen und Schüler Gesprächsregeln einhalten. Vor Ende der Unterrichtsstunde sollen sich die Komitee-Mitglieder zusammensetzen, sich untereinander besprechen und das Ergebnis ihrer Beratung im Plenum vorstellen.

5.2.2.2 Expertinnen und Experten

Die Aufgabe der Expertinnen und Experten ist die Einbringung der Inhalte und Informationen des jeweiligen Expertinnen- und Experten-Kärtchens in die Diskussion. Es wurden dafür sieben Kärtchen mit Expertinnen- und Experten-Informationen entwickelt. Sollten sich in der Klasse mehr als 22 Schülerinnen und Schüler befinden, werden ausgewählte Expertinnen- und Experten-Kärtchen zu zweit bearbeitet, ansonsten werden die jeweiligen Kärtchen alleine bearbeitet.

Als Titel der Kärtchen wurde „Experten-Information“ gewählt (vgl. Abb. 5.24). Die Kärtchen behandeln unterschiedliche Themen rund um die Mobilfunkstrahlung. Bei der Gestaltung der einzelnen Kärtchen wurde darauf geachtet, dass die Informationen in verständlicher und schülerinnen- und schülergerechter Sprache formuliert werden.

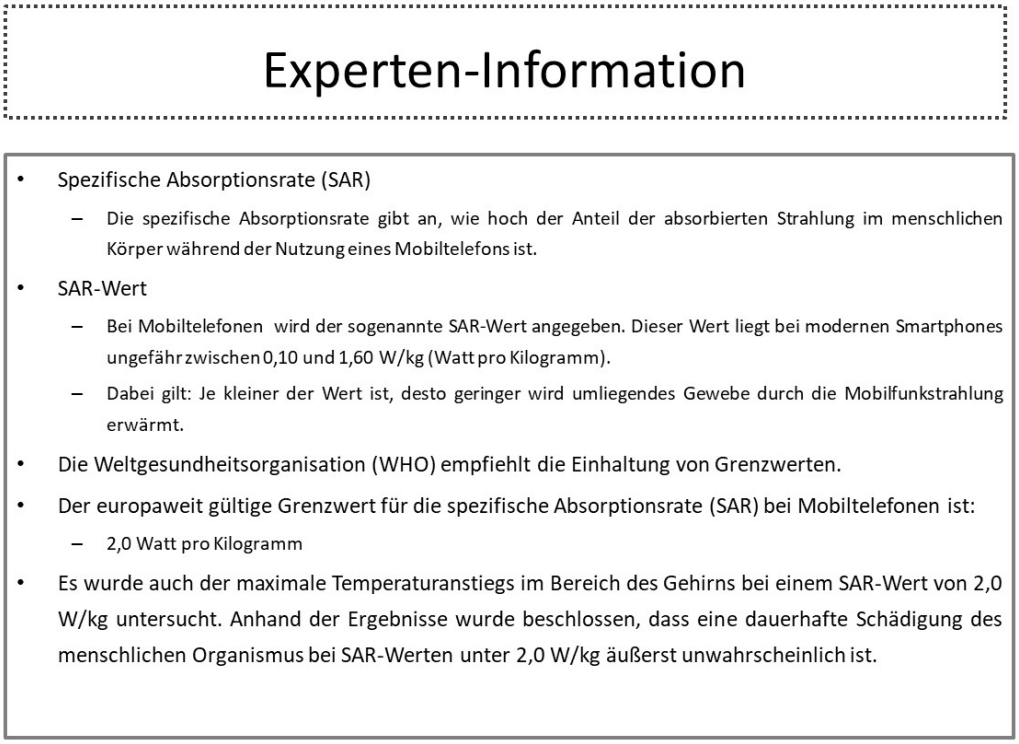


Abbildung 5.24: Das Kärtchen zur Spezifischen Absorptionsrate als Beispiel für eine Expertinnen- und Experten-Information

Die sieben Themen der Expertinnen- und Experten-Kärtchen werden im Folgenden kurz dargestellt, um einen Eindruck darüber zu erhalten, welche Informationen die einzelnen Expertinnen und Experten bearbeiten sollen und, im weiteren Verlauf der Unterrichtsstunde, in die Diskussion einbringen sollen.

1. Ionisierende und nicht-ionisierende Strahlung

   Die im Einführungstext zur elektromagnetischen Strahlung angeführten Arten der Strahlung werden in ionisierende und nicht-ionisierende Strahlungsarten eingeteilt und zusätzlich wird erklärt, was dies bedeutet. Außerdem wird angeführt, dass Mikrowellenstrahlung als kosmische Hintergrundstrahlung das gesamte Universum erfüllt. Es wird auf die Eigenschaften der Mikrowellenstrahlung bei Interaktion mit Materie eingegangen und auch hier Bezug zur vorherigen Stunde hergestellt.

2. Biologische Effekte

   Es wird erläutert, dass Mobilfunkstrahlung den menschlichen Organismus beeinflusst, es jedoch sehr schwer zu erfassen und erforschen ist, ob diese Effekte negative Auswirkungen auf den Menschen mit sich bringen. Betont wird in diesem Sinn ebenfalls, dass diese Effekte nicht unbedingt eine Gefahr für den Menschen darstellen müssen. Zusätzlich werden positive Effekte für den Menschen angeführt, die durch den Kontakt mit Mobilfunkstrahlung beobachtet werden konnten.

3. Gliome

   Der Begriff „Gliom“ wird erklärt und zusätzlich etwas genauer auf Hirntumore eingegangen. In diesem Zusammenhang wird das durchschnittliche Risiko an Gliomen zu erkranken angeführt und erläutert, was eine Verdoppelung dieses Risikos bedeuten würde. Ebenfalls wird angeführt, dass gewisse Stoffe, Substanzen oder Strahlungen dieses Risiko erhöhen können. Damit wird Bezug zu der Experten-Information über Karzinogene und der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) hergestellt.

4. Karzinogene und Internationale Agentur für Krebsforschung

   Es wird erklärt, dass die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) mögliche Ursachen von Krebs erforscht und in diesem Zusammenhang eine Liste von Karzinogenen – Substanzen, Strahlungen oder Stoffe, die zu Krebs führen können – erstellt hat. Der Begriff „Karzinogen“ wird erklärt und auf deren Einteilung in fünf Gruppen verwiesen. Es wird angeführt, dass sich Mobilfunkstrahlung in der Gruppe der möglicherweise krebserregenden Karzinogene befindet.

5. Strahlungsintensität

   Es werden Situationen angeführt, in denen die Strahlungsintensität von Mobiltelefonen am größten ist und erklärt, was für Effekte dadurch auftreten können. Zusätzlich wird angeführt, was man zur Verringerung der Strahlungsintensität auf den Körper, im speziellen den Kopf, tun kann.

6. Spezifische Absorptionsrate

   Die Spezifische Absorptionsrate und der SAR-Wert werden erklärt und in diesem Zusammenhang der von der WHO empfohlene Grenzwert von 2,0 W/kg angeführt. Ebenso wird angegeben in welchem Bereich die SAR-Werte der *Smartphones* liegen, die derzeit im Handel erhältlich sind.

7. Mobilfunknetz

   Die Funktionsweise des Mobilfunknetzes wird erklärt und anhand einer Grafik bildlich dargestellt. Im Speziellen wird noch auf die Basisstationen (Mobilfunkantennen) und deren Strahlungsbelastung eingegangen.

Zusätzlich zu den Kärtchen mit Expertinnen- und Experten-Informationen wurde ein Kärtchen entwickelt, auf dem sich der Arbeitsauftrag für die Expertinnen und Experten befindet (vgl. Abb. 5.25). Die Schülerinnen und Schüler, die als Expertinnen und Experten fungieren, sollen sich die Informationen des jeweiligen Expertinnen- und Experten-Informations Kärtchens durchlesen, drei Argumente auswählen, die ihnen für die Diskussion besonders wichtig erscheinen und diese auf einem separaten Kärtchen notieren (vgl. Abb. 5.25). Wie zuvor erwähnt, soll dies dem Ablesen der Informationen bei der Diskussion entgegenwirken.

Lies dir die Informationen auf deinem Experten-Kärtchen durch und schreibe die besten drei Argumente auf!

Abbildung 5.25: Der Arbeitsauftrag für die Expertinnen und Experten

5.2.2.3 Komitee-Mitglieder

Die Aufgabe der Komitee-Mitglieder ist das Notieren und Kategorisieren der Äußerungen der Studienvertreterinnen und -vertreter und Expertinnen und Experten in Pro und Kontra. Zusätzlich sollen die Mitglieder des Komitees Ideen zu den Gefahren von Mobilfunkstrahlung aufschreiben und sich gemeinsam Fragen für die Diskussionsrunde überlegen. Je nachdem wie groß die Klasse ist, wird es drei oder fünf Komitee-Mitglieder geben. Am Ende wird sich das Komitee beraten, abstimmen und soll zu einer Einigung oder einem Kompromiss bezüglich der Gefahren und des Nutzens von Mobilfunkstrahlung kommen.

Auf den Kärtchen mit dem Titel „Komitee-Mitglied“ befindet sich eine Pro- und Kontra-Liste, in die die Mitglieder des Komitees die in der Diskussionsrunde erwähnten Informationen der Studienvertreterinnen und -vertreter und Expertinnen und Experten eintragen sollen (vgl. Abb. 5.26). Neben dem „PRO“ befindet sich ein Plus und neben dem „KONTRA“ ein Minus (vgl. Abb. 5.26), um zu unterstreichen, dass hier Argumente für und gegen Mobilfunkstrahlung notiert werden sollen. Des weiteren wurden diese Spalten durch eine dunklere Farbgebung optisch hervorgehoben (vgl. Abb. 5.26).

Komitee-Mitglied

PRO +	KONTRA -

Abbildung 5.26: Das Kärtchen mit der Pro- und Kontra-Liste für die Komitee-Mitglieder

Zusätzlich zu den Kärtchen mit der Pro- und Kontra-Liste wurde ein weiteres Kärtchen entwickelt, auf dem sich der Arbeitsauftrag für die Komitee-Mitglieder befindet (vgl. Abb. 5.27). Die Schülerinnen und Schüler, die Teil des Komitees sind, sollen zuerst alleine Gedanken und Ideen zu den Gefahren von Mobilfunkstrahlung aufschreiben und sich dann in einem weiteren Schritt gemeinsam drei Fragen überlegen, die sie in der Diskussionsrunde an die Studienvertreterinnen und -vertreter und Expertinnen und Experten stellen werden (vgl. Abb. 5.27).

- Was denkst du über die Gefahren von Mobilfunkstrahlung? Schreibe deine Ideen auf!
- Formuliere mit den anderen Komitee-Mitgliedern Fragen für die Diskussionsrunde!

Abbildung 5.27: Der Arbeitsauftrag für die Komitee-Mitglieder

5.2.2.4 Vertreterinnen und Vertreter der Studien

Die Aufgabe der Vertreterinnen und Vertreter der Studien ist die Präsentation und Vorstellung der Inhalte und Ergebnisse der jeweiligen Studie. Je nachdem wie groß die Klasse ist, wird es pro Studie eine Vertreterin bzw. einen Vertreter oder zwei Studienvertreterinnen und -vertreter geben, also insgesamt entweder fünf oder zehn Studienvertreterinnen und -vertreter.

Die Inhalte, Rahmenbedingungen und Ergebnisse der fünf ausgewählten Studien (für genauere Informationen zu den Studien, siehe 2.3.2) wurden in vereinfachter und schülerinnen-

und schülergerechter Form ausgearbeitet. Dabei wurde auf eine einheitliche Gliederung und ein optisch ansprechendes Format geachtet.

Als Titel der Kärtchen wurde „Vertreter/-in der Studie“ mit der jeweiligen Bezeichnung der Studie gewählt (vgl. Abb. 5.28). Zu Beginn wird angeführt in welchem Land die Studie durchgeführt wurde, was sich im Großteil der Fälle auch durch den Titel der Studie erklären lässt. Anschließend folgt das Studiendesign, also ob es sich um eine Fall-Kontroll Studie, Kohorten- oder Längsschnittstudie handelt (vgl. Abb. 5.28). Danach werden die Rahmenbedingungen und etwaige zusätzliche Infos angeführt und zuletzt wird auf die Ergebnisse der Studie eingegangen (vgl. Abb. 5.28).

Vertreter/in der Studie Schweden

Diese Studie wurde in Schweden durchgeführt.

- Studiendesign:
  - Die Studie ist eine Fall-Kontroll Studie. Bei dieser Art von Studie wird eine Gruppe von Erkrankten mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen und anschließend auf mögliche Ursachen der Erkrankung geschlossen.
  - Es wurde dabei eine Gruppe von Hirntumor-PatientInnen mit gesunden Personen aus einer Kontrollgruppe (ähnlich bezüglich Alter, Geschlecht, Herkunft) verglichen. Anschließend wurde das Telefonierverhalten der TeilnehmerInnen beider Gruppen evaluiert.
- Die Studie lief insgesamt über 10 Jahre (1997 bis 2003, 2007 bis 2009) und es wurden knapp 1.500 Gliom-Fälle beobachtet. Die Dauer der Studie war notwendig, um genug Fälle zu erhalten.
- Die Evaluierung des Verhaltens bezüglich der Mobiltelefon-Nutzung der TeilnehmerInnen erfolgte durch Fragebögen und teilweise zusätzlichen Interviews.
- Die Ergebnisse der Befragungen beider Gruppen wurden ausgewertet und der Zusammenhang der Auswertungen zu den Erkrankungen untersucht.
- Ergebnis:
  - Die Auswertungen der Ergebnisse deuteten daraufhin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko an Gliomen zu erkranken verdoppelt.
  - Das größte Risiko fand man dabei für Gliomen im Temporallappen des Gehirns.

Abbildung 5.28: Das Kärtchen zur Studie Schweden als Beispiel für ein StudienvertreterIn-Kärtchen

Zusätzlich zu den Info-Kärtchen bezüglich der Studien wurde ein weiteres Kärtchen entwickelt, auf dem sich der Arbeitsauftrag für die Vertreterinnen und Vertreter der Studien befindet (vgl. Abb. 5.29). Um dem Ablesen der Informationen bei der Durchführung der Diskussion entgegenzuwirken, sind die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, die wichtigsten Aspekte der jeweiligen Studie (Studiendesign, Rahmenbedingungen und Ergebnisse) eigenständig auf diesem separaten Kärtchen zusammenzufassen (vgl. Abb. 5.29). Diese Ausarbeitungen sollen dann die Basis der Diskussion bilden.

Lies dir die Informationen zur Studie durch und fasse die wichtigsten Aspekte (Studiendesign, Rahmenbedingungen, Ergebnisse) zusammen!

Abbildung 5.29: Der Arbeitsauftrag für die Vertreterinnen und Vertreter der Studien

5.3 Erste Überarbeitung

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie das entwickelte Unterrichtsmaterial in einer ersten Phase überarbeitet wurde. Auf Grund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen der beiden Unterrichtsstunden wird dabei auf verschiedene Methoden zurückgegriffen, einerseits auf die Think-Aloud Methode und andererseits auf den Ansatz des Design-Based Research.

5.3.1 Erkenntnisse – Erste Unterrichtsstunde

Bevor das Material der ersten Unterrichtsstunde in den Schulklassen getestet wurde erfolgte eine Prätestung, um etwaige Schwachstellen erfassen und anhand der gewonnenen Erkenntnisse Verbesserungen und Veränderungen vornehmen zu können. Für diese erste Testung wurde die Methode des Think-Alouds herangezogen (siehe 4.2).

5.3.1.1 Methode

Die Think-Alouds wurden mit einer Schülerin (S1) und einem Schüler (S2) durchgeführt. Beide befanden sich zum Zeitpunkt der Testung in der 8. Schulstufe und gingen auf dasselbe Gymnasium. Die Testungen des Materials verliefen einzeln und im Rahmen der Nachmittagsbetreuung der Schule.
Als Raum für die Testung wurde der Werkraum im Erdgeschoss der Schule ausgewählt, da es dort sehr hell war und kein umliegender Lärm die Think-Alouds gestört hat. Der Raum wurde vor Beginn gelüftet, da frische Luft die Konzentration fördert. Alle Versuche waren vorbereitet und mit den nötigen Materialien versehen worden. Die Versuche befanden sich an den Tischen seitlich beziehungsweise hinter dem Platz der Schülerinnen und Schüler, um ihre Aufmerksamkeit nicht gleich zu Beginn darauf zu richten. Die Schülerin und der Schüler saßen bei der Durchführung jeweils auf einem Platz mit Blick zum Fenster und die Interviewerin befand sich schräg rechts hinter ihnen.
Der Schülerin und dem Schüler wurde erklärt, dass bei dieser Testung weder ihr Können noch ihre Leistung überprüft werden, sondern das Material und seine (Un-)Verständlichkeit im Mittelpunkt stehen. Als Einstieg wurde mit einer kleinen Übung begonnen, um die Schülerinnen und Schüler mit der Methode des Think-Alouds vertraut zu machen, also dem Lauten Aussprechen jedes Gedankens, der einem bei der Bearbeitung einer Aufgabe in den Sinn kommt. Da beide Schülerinnen und Schüler das erste Mal mit dieser Methode gearbeitet haben, erschien es der Interviewerin sehr wichtig, eine passende Aufgabe zu erstellen um den Umgang mit dieser Methode zu üben. Abschließend wurden den Schülerinnen und Schülern die gestuften Lernhilfen erklärt und darauf hingewiesen, dass sie bei aufkommenden Fragen genutzt werden sollten. Die Arbeitsmappen wurden ausgeteilt und mit den Think-Alouds begonnen.
Im folgenden Abschnitt wird auf Aussagen der beiden Schülerinnen und Schüler des Think-Alouds eingegangen und als Referenz die Transkripte, die sich im Anhang befinden (siehe

7.4), herangezogen. Hierfür wurden das jeweilige Think-Aloud Gespräch (S1 oder S2), sowie die Zeilen, in denen sich die entsprechenden Aussagen befinden, angegeben.

5.3.1.2 Merksätze bilden

Beide lasen den Text laut vor, S1 schaute sich die Abbildung zum elektromagnetischen Spektrum kurz an, S2 untersuchte die Grafik etwas länger und bemerkte „Schaut witzig aus“ (S2, Z. 2). Nach dem Umblättern auf die zweite Seite und Lesen der Aufgabe zur Bildung von Merksätzen fragten beide Schülerinnen und Schüler nach, ob sie nochmal zum Text umblättern dürften: „Kann ich hinten auch nachschauen? Also, beim Zettel noch einmal?“ (S2, Z. 8/9), „Kann ich da nachschauen auch noch einmal?“ (S1, Z. 11). Beide achteten darauf, alle Wörter für die Merksätze zu verwenden, S1 strich die Wörter zusätzlich nach Verwendung durch. S2 achtete darauf, die Abschnitte vom Text umzuformulieren und Fragmente zusammenzuführen, S2 schrieb als Zusammenfassung:

> *„Mikrowellenstrahlung wird zur Kommunikation für Handys benutzt. Verschiedene Formen der Strahlung werden eingeteilt durch das Elektromagnetisches Spektrum. Jede Art der Elektromagnetischen Strahlung wird durch eine bestimmte Wellenlänge definiert.“*

Bei S1 fiel auf, dass sie sich mit der Bildung von Merksätzen schwerer tat und länger überlegte (S1, Z. 14-31). Sie achtete bedingt auf die Umformulierung der Textabschnitte, da der erste Satz, bei dem sich ein Fehler eingeschlichen hat, und der zweite Merksatz dem Text nahezu wortgleich sind:

> *„Wellen die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, nennt man elektrische Strahlung, die Einteilung der Strahlung erfolgen über das elektromagnetische Spektrum, Mikrowellenstrahlung wird heut-zu tage sehr oft eingesetzt für verschiedene Strahlungsarten verantwortlich ist die Wellenlänge.“*

Zusätzlich sei anzuführen, dass S1 zwischen den einzelnen Sätzen Beistriche machte, zwischen „sehr oft eingesetzt“ und „für verschieden“ jedoch darauf vergessen hat und insgesamt vier Sätze formulierte.

5.3.1.3 Experimentieren mit Mikrowellen

Beide Schülerinnen und Schüler lasen sich den kurzen Einführungstext zu „Experimentieren mit Mikrowellen“ durch (S2, Z. 31; S1, Z. 32). Obwohl sie hier den Hinweis lasen, sich die Infokästchen mit hilfreichen Tipps durchzulesen, dauerte es bei beiden etwas bis sie die Hilfen nutzten. Sie lasen sich die Infokästchen meist erst nachdem die gestuften Lernhilfen genutzt wurden durch.
Die Reihenfolge der Forschungsstationen wurde von S1 womöglich anhand der kürzesten Entfernung vom Ort, an dem sie saß, getroffen. Die Station 2 befand sich am Nächsten

bei ihr und dies war wahrscheinlich der Grund, warum sie mit den Versuchen zu Mobilfunkstrahlung begonnen hat (S1, Z. 34-37). Die Reihenfolge der Übungsblätter war für sie demnach eher nebensächlich bzw. war es kein Grund für sie, um die Station 1 zu suchen und mit dieser Forschungsstation zu beginnen. Im Gegensatz dazu machte sich S2 einen Überblick über die Lage der einzelnen Forschungsstationen – „Und wo ist eins? Ah, da ist eins. (...) Da (...) Soll ich das machen, ist das das?“ – und begann dann mit den Aufgaben zu Forschungsstation 1 (S2, Z. 34-37).

5.3.1.4 Erste Forschungsstation

Beide Schülerinnen und Schüler lasen sich den Einführungstext zu der Station, sowie den Abschnitt zu den Materialien und der Anleitung des Versuchs durch (S2, Z. 36/37). S1 sagte zusätzlich „Ich les den Text gleich.“ (S1, Z. 221). Die Zusatz-Information wurde weder von S1, noch von S2 gelesen.

Bei der Durchführung des Versuchs ist aufgefallen, dass die Schokolade mit den Rillen nach oben auf den Teller gelegt wurde (S1, Z. 222). Anhand der Unebenheiten auf der Oberseite der Schokolade ist es jedoch schwieriger die heißen bzw. geschmolzenen Stellen zu erkennen.
S2 hatte Schwierigkeiten den Begriff „Hot Spot“ zu verstehen und meinte: „Steht da drinnen, was ‚Hot Spots‘ sind?“, womit er die Arbeitsmappe meinte (S2, Z. 50). Die Platzierung der Schokolade auf dem Teller, sowie die Platzierung des Tellers im Mikrowellenofen funktionierten bei beiden Schülerinnen und Schülern genau wie beschrieben.

Beide Schülerinnen und Schüler vergaßen auf die Messung der Zeit bzw. schätzten die 45 Sekunden anhand der Einstellung des Reglers des Mikrowellenofens ab (S2, Z. 43-49; S1, Z. 223-229). Selbst nach der Erwähnung der Interviewerin, dass das Handy als Stoppuhr verwendet werden kann (S1, Z. 224), wurde bei der Durchführung darauf vergessen.
Das anschließende Messen des Abstands zwischen den „Hot Spots“ warf, vor allem bei S1, etwaige Probleme auf. S1 bemerkte: „Wo muss ich da jetzt den Abstand messen? (...) Das ist jetzt gerade ein bisschen unklar.“ (S1, Z. 234). Selbst mit den Tipps der gestuften Lernhilfe war für S1 unklar, wie bzw. was genau gemessen werden soll: „Miss mit einem Lineal den Mittelpunkt (...) wo ist der Mittelpunkt?“. Dies kann einerseits daran gelegen haben, dass es sich bei den „Hot Spots“ um keine gleichmäßig geformten, runden Stellen handelt und andererseits daran, dass die Hinweise für S1 unklar formuliert waren. Besonders der Tipp, dass vom Mittelpunkt des einen „Hot Spots“ zum Mittelpunkt des anderen „Hot Spots“ gemessen werden soll, führte zu Unverständlichkeit.
S2 hatte bei der Messung ebenso das Problem, dass unklar war, was genau gemessen werden soll: „Das ist ein ‚Hot Spot‘, gö? (...) Da ist ein zweiter. (...) Und jetzt soll ich (notieren?), dass das da auch geschmolzen ist, oder?“ (S2, Z. 56/57). Nachdem S2 den Tipp der gestuften Lernhilfe gelesen hat und die Interviewerin erwähnte, dass nicht genau vom Mit-

telpunkt, sondern vom Rand des „Hot Spots“ gemessen wird, konnte S2 die Aufgabe lösen (S2, Z. 58-67). Nach Erklärungen der Interviewerin (S1, Z. 241/242 und 245/246) kam S1 auch zu einem Wert, notierte diesen jedoch nicht am Arbeitsblatt. Auch S2 notierte sich den gemessenen Wert nicht.

S1 griff anschließend zu den Hinweisen, befolgte jedoch den ersten Tipp, der das Lesen des 1. Info-Kästchens vorschlug, nicht und ging direkt zum zweiten Tipp über (S1, Z. 262/263). S2 ging ähnlich vor, auch er vergaß das Info-Kästchen zu lesen, las sich jedoch nochmal alle drei Tipps zur Durchführung durch, bevor er zum zweiten Tipp überging (S2, Z. 75-81). Beim zweiten Hinweis kommen einerseits Begriffe vor, die durch das Info-Kästchen erklärt werden, jedoch wird andererseits auch erklärt, dass der Bereich zwischen den „Hot Spots“ als die halbe Wellenlänge definiert wird. Diese Info war für S2 ausschlaggebend, um die Wellenlänge λ ermitteln zu können, er notierte sich anschließend den Wert für λ in cm (S2, Z. 82-84). S1 las sich alle drei Tipps durch und notierte sich dann, dass das Ergebnis das „doppelte von der Messung was geschmolzen ist“ sei (S1, Z. 266-271). S1 vergaß dabei, den Wert für λ aufzuschreiben.

Die Aufgabe zur Abbildung warf ebenso einige Schwierigkeiten auf. S1 hatte nur mehr wenig Zeit, weshalb hier auch der Stress-Faktor eine Rolle spielte. Nach dem Hinweis der Interviewerin, dass bei Unklarheiten die Tipps angeschaut werden sollten, las S1 sich die Informationen des Zusatz-Info Kästchens durch (S1, Z. 274). Jedoch schaffte S1 es trotz der Hinweise nicht, die Abbildung korrekt zu beschriften (S1, Z. 277/278). Bei S2 führte ungenaues Lesen der Aufgabe dazu, dass er die Wellenlänge λ und nicht die halbe Wellenlänge einzuzeichnen versuchte (S2, Z. 100-113). Zusätzlich verstand S2 nicht, wie eine halbe Wellenlänge auszusehen hat: „Eine halbe Wellenlänge. (. . .) Das, wie das ausschaut, das kapier ich grad nicht ganz.“ (S2, Z. 113). S2 las sich erst beim Lösen dieser Übung die Zusatz-Info durch, konnte jedoch anhand derer und der Tipps der gestuften Lernhilfe die „Hot Spots“ einzeichnen (S2, Z. 114-128).

Bei der letzten Aufgabe dieser Station ging es um die Berechnung der Wellenlänge der Mikrowellen des Mikrowellenofens. Da S1 frühzeitig gehen musste und diese Forschungsstation als letzte bearbeitete, konnte dieser Teil nicht mehr durchgeführt werden.
S2 las sich alle Angaben durch und begann die Frequenz auf der Hinterseite der Mikrowelle zu suchen. Die Beschriftung der Frequenz auf der Rückseite der Mikrowelle war nicht ausführlich genug, denn S2 konnte diese durch alleinige Angabe des Werts und der Einheit Hz nicht identifizieren (S2, Z. 139-143). Der Wert der Frequenz wurde von S2 nach dem Ablesen nicht in den Unterlagen notiert (S2, Z. 152).
Anhand des 1. Hinweises der gestuften Lernhilfen zur Berechnung der Wellenlänge las sich S2 die 2. Zusatz-Info und anschließend die restlichen Tipps durch (S2, Z. 163-180). In einem weiteren Schritt formte S2 die Formel richtig um (S2, Z. 184). Die Hinweise auf den Tipps waren somit ausreichend und so formuliert, dass die Aufgabe bewältigt werden konnte.

S2 vergaß bei der Berechnung der Wellenlänge mit dem Rechner seines Handys höchstwahrscheinlich auf das Eintippen von drei Nullen, denn es kam ein falscher Wert heraus. S2 schrieb weder die Einheit dazu, noch überprüfte er den Wert mit dem vorher ermittelten Wert der Wellenlänge aus dem Experiment (S2, Z. 192/193).

5.3.1.5 Zweite Forschungsstation

Die größte Schwierigkeit bei dieser Station war für beide die Unklarheit darüber, wie sie die Materialien testen sollen.

Nachdem S1 den Einführungstext und die Angabe gelesen hat, war sie unsicher über den Verlauf des Experiments. S1 antwortete auf die Frage, worüber sie nachdenkt: „Ja, wie ich das jetzt machen muss, genau. (Liest) bedecke das Handy von allen Seiten, ah so, dass ich das jetzt zum Beispiel da rauf legen muss? Oder so?“ (S1, Z. 54/55). S1 umwickelte ihr Handy mit dem Silbergitter-Stoff und legte das umwickelte Handy in den Karton. Auf Anraten der Interviewerin nahm sie die gestufte Lernhilfe zur Hand (S1, Z. 57/58). Der Tipp der gestuften Lernhilfe war für S1 unklar und führte eher zu noch mehr Verwirrung (S1, Z. 64-87). Bei diesem Hinweis waren Beschreibungen zum Umgang mit der Alufolie, dem Silbergitter-Stoffe, dem Edelstahlgewebe und den Keramik-Töpfen angeführt, jedoch nicht die Kartonschachtel und die Plastik-Box. Den Begriff Keramik kannte S1 nicht: „Zwei Ke-ra-mik. Ke-ra-mik?“ (S1, Z. 41). Nach der Testung der Materialien kam von S1 die Frage, ob sie denn die Keramik-Töpfe auch verwenden soll (S1, Z. 133). Es war somit unklar, dass alle Materialien getestet werden sollen.

Für S2 galt in Bezug auf die Durchführung des Versuchs dasselbe. Er hatte zu Beginn ebenfalls Schwierigkeiten die Aufgabenstellung umzusetzen, kam dann jedoch selbst drauf, dass er etwas falsch gemacht hat: „Ah so, muss ich das [...] Ich hätte es mir zuerst durchlesen sollen und dann noch einmal machen.“ (S2, Z. 214-219). Dies deutet darauf hin, dass für S2 ebenfalls unklar war, dass die Materialien einzeln getestet werden sollen.

Bei der Verschriftlichung der Beobachtungen griff S1 zu den Hinweisen (S1, Z. 97) und schrieb dann anhand der Begriffe „transmittiert“ und „reflektiert“ ihre Beobachtungen auf. Interessant zu beobachten war, dass S1 die Erklärung ihrer Beobachtungen auf Grund der Lage des Materials bzw. der Art des Umgebens des Handys mit Material formulierte. S1 schrieb: „wenn es alle 4 Seiten vom Handy berührt das es reflektiert und wenn es wo liegt und nicht alle 4 Seiten berührt werden wird es transmittiert“ (S1, Z. 153-155). Es wird angenommen, dass S1 damit meinte, dass Alufolie, Silbergitter-Stoff und Edelstahlgewebe die Strahlung deshalb reflektieren bzw. nicht durchlassen, weil das Handy von allen Seiten mit dem jeweiligen Material bedeckt war. Diese Schlussfolgerung ist richtig, denn würde man das Handy nur lose mit speziell diesen drei Materialien umgeben, könnte das Handy Mobilfunkstrahlung emittieren und ein Anruf würde funktionieren. Jedoch wurden hierbei

nicht die anderen Materialien des Versuchs miteinbezogen (Karton, Kunststoff, Keramik). Ebenso kann anhand der Begründung von S1 nicht darauf geschlossen werden, ob sie bei ihrer Erklärung nur von den Materialien gesprochen hat, bei denen Strahlung reflektiert wurde, oder ob diese Erklärung auch für die Materialien, bei denen Strahlung transmittiert wurde, gilt. Es ist somit nicht klar, ob S1 die grundlegenden Eigenschaften von Mobilfunkstrahlung verstanden hat.

S2 nutzte für das Notieren der Beobachtungen keinen Hinweis und stellte im Vorhinein Vermutungen an, welche Materialien die Strahlung durchlassen werden und welche nicht (S2, Z. 229, 236, 260, 269). Auffallend war, dass S2 vom Ausgang des Versuchs mit den Keramik-Töpfen überrascht war: „Aber wieso, wenn das ja verschlossen war. (meint die beiden Töpfe) Also muss das entweder wo durchgehen, oder (...) wahrscheinlich ist da so viel Platz (meint die Stelle, an der die Töpfe abschließen), aber eigentlich ja nicht. Witzig.“ (S2, Z. 255-257). S2 probierte das Handy erneut anzurufen und kontrollierte die Dichtheit der beiden Töpfe. Bei der Erklärung der Beobachtungen griff S2 zu der gestuften Lernhilfe und merkte an: „Das wird bei den Tipps drin stehen, weil, ich habe keine Ahnung wie das gegangen ist. Ich mein, die drei, bei den drei Sachen, kann ich mir es fast vorstellen, weil das irgendwie ein bisschen metallisch ist.“ (S2, Z. 277-279). Er hat bei der Erklärung der Beobachtungen die Materialien miteinbezogen: „3 Metalle = lassen Mikrowellen durch weil sie reflektiert werden, Keramik Karton u. Kunststoff lassen Mikrowellen durch gelass (trasmittiert)“. S2 hat somit Rückschlüsse auf das Material gestellt.

5.3.1.6 Dritte Forschungsstation

S1 vergaß bei der Messung der Anfangstemperaturen auf die Messung des Wassers des 2. Glases. S1 notierte sich die gemessene Temperatur bei beiden Kästchen (S1, Z. 166).
Das Umwickeln des Glases mit Alufolie erwies sich für beide als etwas schwierig, weshalb hier leicht geholfen wurde (S2, Z. 309-316; S1, Z. 170-186).
S1 und S2 haben beide die Zeit nicht gestoppt und den Regler der Mikrowelle auf etwas weniger als 1 Minute gestellt (S2, Z. 321-327; S1, Z. 188-191). Bei beiden Schülerinnen und Schülern wurde die Mikrowelle von der Interviewerin gestoppt.
Bei der Zusatz-Info hat sich ein Tippfehler eingeschlichen, auf den S1 beim Lesen des Textes aufmerksam geworden ist. Statt „Wärmeenergie“ steht fälschlicherweise „Wärmenergie“ (S1, Z. 199).

Im Allgemeinen kam dieser Versuch bei beiden gut an, S1 meinte „Das finde ich war jetzt ziemlich gut erklärt, also wie man es machen muss und so.“ Die Durchführung funktionierte nahezu einwandfrei. Zusätzlich wurde S2 danach gefragt, wie ihm die Unterrichtsstunde gefallen hat, woraufhin er sagte: „ Naja, es war zum Verstehen gut! Bei ein paar Sachen habe ich halt die Geheim-Tipps gebraucht.“ (S2, Z. 341). Bezüglich der Lernhilfen erwähnte S2 noch: „Es war eigentlich witzig, da kann man wirklich selbstständig arbeiten. Weil bei

den anderen Versuchen bei uns, musst du alle 10 Sekunden den Lehrer fragen, weil du die Hälfte nicht checkst.“ (S2, Z. 345).

5.3.1.7 Zeitlicher Rahmen

Während der Bearbeitung der unterschiedlichen Stationen und Aufgaben wurde die Zeit notiert, die die Schülerinnen und Schüler dafür benötigten. Im Schnitt brauchten die Schülerinnen und Schüler für die Bearbeitung der ersten Aufgabe, der zweiten und dritten Forschungsstation 10,5 Minuten. Trotz der „Überlänge“ der ersten Forschungsstation, bei der die Schülerinnen und Schüler im Schnitt 14,5 Minuten brauchten, wurden beide Schülerinnen und Schüler in etwa in 50 Minuten fertig. Verhältnismäßig wurde beobachtet, dass die dritte Forschungsstation am schnellsten bearbeitet wurde. Die Station zur Ermittlung der Wellenlänge war eindeutig die zeitintensivste, dicht gefolgt von der Forschungsstation 2.

5.3.2 Erkenntnisse – Zweite Unterrichtsstunde

Für die zweite Stunde wurde eine Diskussionsrunde zum Thema „Gefahren und Nutzen von Mobilfunkstrahlung“ geplant. Da bei einer Diskussion mehrere Parteien mit unterschiedlichen Rollen erforderlich sind, konnte das erstellte Material nicht wie für die erste Stunde anhand der Think-Aloud Methode getestet werden. Es wurden mehrere Testpersonen benötigt und somit fand die Prätestung des Material in zwei von drei vierten Klassen statt, in denen auch die weiteren Testungen des Materials stattgefunden haben. Für die erste Überarbeitung des Materials der zweiten Stunde wurde, wie für die generelle Überarbeitung der gesamten Einheit, mit dem Design-Based Research Ansatz gearbeitet.
Das erstellte Material für die Diskussionsrunde wurde in zwei der drei vierten Klassen erprobt. Diese zwei Klassen wurden von derselben Lehrperson unterrichtet, weshalb im Folgenden nur von einer Lehrkraft die Rede ist. Wichtig zu erwähnen ist hierbei noch, dass sich in einer Klasse ausschließlich Mädchen und in der anderen nur Buben befanden.
Die Erkenntnisse aus der Durchführung, den Beobachtungen und den Ausarbeitungen der Schülerinnen und Schüler bildeten die Grundlage für die erste Überarbeitung des Materials.

5.3.2.1 Einteilung der Rollen

Die Lehrperson hat die verschiedenen Rollen unter den Schülern verteilt. Dabei wurden zuerst die Studienvertreter eingeteilt, anschließend die Komitee-Mitglieder sowie die Experten. Die Einteilung erfolgte recht problemlos, da die Lehrperson die Schüler namentlich aufgerufen und so nach der Reihe eingeteilt hat. Pro Studie gab es einen Studienvertreter, die Experten-Informationen wurden bis auf zwei Kärtchen, die in Partnerarbeit ausgearbeitet wurden, ebenfalls alleine bearbeitet und es gab 3 Komitee-Mitglieder. Insgesamt waren in dieser Klasse somit 17 Schüler anwesend.

Da in der zweiten Klasse nur neun Schülerinnen anwesend waren, wurden die Rollen der Studienvertreterinnen und Expertinnen angepasst. Die UK-Studie wurde weggelassen und als Expertinnen-Informationen kamen nur die Infos über Krebs und Gliome, die IARC und die Maßnahmen zur Verringerung der Strahlungsintensität zur Verwendung. Es wurden zwei Komitee-Mitglieder ausgewählt.

5.3.2.2 Verständnisschwierigkeiten bei der Bearbeitungsphase

Nach der Einteilung der Gruppen wies die Lehrperson die Schüler der einen Klasse an, die Arbeitsanweisung zu lesen und zu bearbeiten. Bei der zweiten Klasse wurden die Komitee-Kärtchen, sowie die Karten für die Zusammenfassungen der Studienvertreterinnen und Expertinnen vergessen. Den Schülerinnen wurde die Aufgabenstellung erklärt und auf der Tafel die Fragen notiert, die sie mit Hilfe ihrer Info-Kärtchen bearbeiten sollen. Die Schülerinnen wurden gebeten, ihre Ausarbeitungen auf ein separates Blatt Papier zu schreiben.

Die Schülerinnen und Schüler arbeiteten aktiv in den Gruppen, die Expertinnen und Experten diskutierten teilweise gemeinsam über die Informationen auf ihren Kärtchen und die Studienvertreterinnen und -vertreter fassten die Infos bezüglich der Studien zusammen. Es konnte beobachtet werden, dass konzentriert an den Arbeitsaufträgen gearbeitet wurde. Die Schüler sind mit der vorgegebenen Zeit von 10 Minuten zurechtgekommen, jedoch benötigten die Schülerinnen mehr Zeit dafür, in etwa 17 Minuten.
Während dieser Phase tauchten mehrere Fragen auf. Einer Studienvertreterin (Schweden) war unklar was eine Fall-Kontroll Studie ist, was man unter einer Kontrollgruppe versteht und warum das Telefonierverhalten beobachtet wurde. Die Lehrperson ging auf die Fragen ein und klärte die Schülerin auf.

Es ist aufgefallen, dass für die Schülerinnen und Schüler gewisse Begriffe schwer zu verstehen waren. Zum Beispiel kam die Frage auf, was genau Rahmenbedingungen seien oder was der Begriff Studiendesign bedeutet. Die Lehrperson hat daraufhin Erklärungen zu den Wörtern geliefert. Ein Schüler war sich unsicher, wie man den Normalgebrauch von Mobiltelefonen definiert. Manchen Experten war bei der Bearbeitungsphase nicht ganz klar, zu welchem Zweck sie die Argumente aufschreiben sollen („Für was müssen wir Argumente aufschreiben?“). Einige Schülerinnen und Schüler fragten auch, was genau Argumente sind. Für die Komitee-Mitglieder war unklar, wie viele Fragen sie notieren sollen.

5.3.2.3 Diskussionsrunde

Für die Diskussion platzierten sich die Schülerinnen und Schüler kreisförmig, sodass jede/r jede/n sehen konnte. Die Lehrperson leitete die Moderation ein und verwies auf die Widersprüchlichkeit wissenschaftlicher Studien bezüglich Mobilfunkstrahlung und Krebs.

Die Studienvertreterinnen und -vertreter wurden der Reihe nach gebeten, die jeweiligen Studien vorzustellen. Nach jeder präsentierten Studie stellte die Lehrperson weiterführende Fragen an die Expertinnen und Experten. Die Infos der Expertinnen und Experten konnten so in die Diskussion eingebaut werden und die Schülerinnen und Schüler aktiver am Gespräch teilnehmen. Die Lehrperson versuchte, auf alle Experten-Informationen einzugehen und fragte des Öfteren, ob jemand von den Expertinnen und Experten wichtige Informationen zur Diskussionsrunde beisteuern könnte. Es ist jedoch aufgefallen, dass es durch unzureichende Kenntnis der Expertinnen- und Experten-Informationen seitens der Moderation schwierig ist, die Expertinnen und Experten gezielt an den passenden Momenten anzusprechen. Diese Phase dauerte in beiden Klassen 15 Minuten.

Nach der Vorstellung aller Studien und der Einbindung der Expertinnen und Experten in die Diskussion, wurden die Fragen der Komitee-Mitglieder behandelt, was in der einen Klasse nochmals 7 Minuten und in der anderen 4 Minuten dauerte. Dabei konnte beobachtet werden, dass sich die Schülerinnen und Schüler besonders dafür interessierten, ob die Expertinnen und Experten und Studienvertreterinnen und -vertreter die Handys vor dem Schlafengehen ausschalten. Eine Studienvertreterin antwortete auf diese Frage, dass „wenn keiner anruft, die Strahlenbelastung nicht hoch ist“, sie es jedoch trotzdem ausschalten würde, weil man es eh nicht braucht. Auf die Fragen „Wann ist die Strahlung am höchsten?“ und „Warum ist die Strahlung gefährlich?“ hatten die Schülerinnen der einen Klasse keine Antwort. Dadurch wird deutlich, dass in dieser Klasse zu wenige Schülerinnen anwesend gewesen sind, denn diese Fragen hätten anhand zusätzlicher Expertinnen-Informationen beantwortet werden können.

Insgesamt dauerten die Diskussionsrunden in beiden Klassen 19 und 22 Minuten. Es ist aufgefallen, dass die Schülerinnen und Schüler große Unterstützung benötigen, um ihre Ausarbeitungen in die Diskussionsrunde einbringen zu können. Damit ist gemeint, dass die Lehrperson im Rahmen der Moderation einzelne Schülerinnen und Schüler gezielt ansprechen musste, um die Diskussion am „Laufen zu halten“. An dieser Stelle sollte das Alter der Schülerinnen und Schüler nicht unerwähnt bleiben. Die Schülerinnen und Schüler sind zwischen 13 und 15 Jahre alt und haben vermutlich größtenteils noch nie eine Diskussion im Unterricht geführt.

5.3.2.4 Analyse der Aufzeichnungen

Die Analyse der Zusammenfassungen der Studienvertreterinnen und -vertreter weist darauf hin, dass die Schülerinnen und Schüler die Informationen aus den Studien-Kärtchen zum Großteil verstanden haben und versuchten, sie in eigenen Worten wiederzugeben. Bei einem Schüler fiel auf, dass er die Info aus dem Text nicht verstanden hat, da er teilweise falsche Formulierungen wählte: „rund 800000 Teilnehmer beobachtet inkl. Frauen“ ist eine falsche Information, denn es nahmen ausnahmslos Frauen teil oder „Die Teilnehmer

beantworteten unterorderen Fragen“ ist falsch abgeschrieben, richtig wäre „die Teilnehmer beantworteten unter anderem Fragen“. Dies könnte damit zu tun haben, dass im Text zur Studie Wörter vorgekommen sind, die für ihn unverständlich waren.

Die Expertinnen und Experten notierten sich auf ihren Arbeitszetteln die für sie wichtigsten Argumente. Dabei konnte festgestellt werden, dass 65% der Schülerinnen und Schüler die Informationen korrekt in eigenen Wörtern oder Sätzen formulierten. Rund 25% der Schülerinnen und Schüler schrieben die Informationen von den Info-Kärtchen ab. Dies lässt darauf schließen, dass genug Informationen auf den Kärtchen vorhanden sind, um eigene Formulierungen zu wählen, jedoch trotzdem einige Schülerinnen und Schüler dazu tendieren, die Informationen abzuschreiben. Hier stellt sich die Frage, ob die Art bzw. das Design der Aufbereitung der Informationen verändert werden sollte, oder es anzunehmen ist, dass dieser Prozentsatz an Schülerinnen und Schülern generell eher dazu neigt, Informationen abzuschreiben.

Nach der Analyse der Arbeitsblätter der Komitee-Mitglieder, speziell bei der Frage über die Gefahren von Mobilfunkstrahlung, lässt sich sagen, dass die Schülerinnen und Schüler von vornherein nicht dachten, dass Mobilfunkstrahlung große Gefahren hervorrufen kann. Die Komitee-Mitglieder machten sich über die Meinungen der anderen und darüber, ob man davon krank werden kann und wenn ja, welche Krankheiten man bekommen könnte, wann die Strahlung am höchsten ist, warum die Strahlung gefährlich ist und ob die Expertinnen und Experten und Studienvertreterinnen und -vertreter die Handys vor dem Schlafengehen ausschalten, Gedanken. Die Pro- und Kontra-Listen wurden in beiden Klassen mäßig genutzt. Ein Schüler notierte sich die Ergebnisse aller Studien, außer die der USA und schrieb keine einzige Expertinnen- und Experten-Information auf.

5.3.2.5 Zeitlicher Rahmen

Zeitlich ging sich in der einen Klasse alles sehr gut aus, die Lehrkraft konnte die geplanten Phasen des Unterrichts ohne Probleme umsetzen. In der zweiten Klasse dauerte alles verhältnismäßig länger und die Komitee-Mitglieder konnten ihre Entscheidung nur sehr verkürzt in einem Satz mitteilen. Ein möglicher Grund für die ungenügende Zeit könnte sein, dass diese Unterrichtsstunde statt 50 nur 45 Minuten dauerte. Ein weiterer Grund könnten die vergessenen Arbeitsblätter sein. Die Lehrperson benötigte Zeit, um den Schülerinnen die Anweisungen zu erklären, beziehungsweise sie auf der Tafel zu notieren.

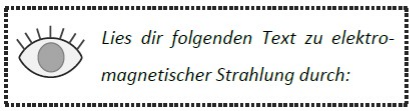
5.3.3 Änderungen – Erste Unterrichtsstunde

Wie die beiden Schülerinnen und Schüler bei den Think-Alouds mit den Aufgaben zu Recht gekommen sind und wo Unterschiede oder Schwierigkeiten aufgetreten sind, war sehr aufschlussreich. Im Vorhinein war nicht klar, dass das Material an gewissen Stellen grobe Unklarheiten aufweist. Demnach ist die Durchführung der Think-Alouds ein entscheidender Schritt zur Verbesserung des Materials vor der Durchführung der Testung in der Schule gewesen.

Im folgenden Kapitel werden die ersten Änderungen, die am Material der ersten Unterrichtsstunde vorgenommen wurden, dokumentiert. Bei der Analyse des Materials wurde mit der in 4.3 angeführten Methode gearbeitet.

5.3.3.1 Text zu elektromagnetischer Strahlung

Am Einführungstext wurden ein paar kleinere Änderungen vorgenommen. Der erste Satz des Textes wurde umformuliert, damit sich „elektromagnetische Strahlung“ in einer Zeile befindet (vgl. Abb. 5.30) und der Zusatz „und die somit für uns sichtbar ist“ wurde aus dem Text gestrichen (vgl. Abb. 5.30), da diese Information überflüssig ist. Der Absatz über die Wellenlänge als physikalische Größe wurde nach Rücksprache mit einem Experten überarbeitet (vgl. Abb. 5.30)


Lies dir folgenden Text zu elektromagnetischer Strahlung durch:

Als **elektromagnetische Strahlung** bezeichnet man Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Man unterscheidet dabei verschiedene Arten von elektromagnetischer Strahlung. Die sichtbare Strahlung, auch „sichtbares Licht” genannt, ist dir sicher bekannt. Andere Strahlungsarten wie Mikrowellen-, Infrarot-, UV- und Röntgenstrahlung sind Teil der unsichtbaren Strahlung.

Die verschiedenen Formen der Strahlung teilt man auf Grund ihrer unterschiedlichen Wirkungen ein. Diese Einteilung erfolgt über das **elektromagnetische Spektrum** (siehe Abbildung).

Sichtbare Strahlung ist die einzige Strahlung, die wir Menschen mit unseren Augen wahrnehmen können.

Unsichtbare Strahlung können wir nicht sehen, teilweise jedoch fühlen.

Die wärmende Wirkung der Infrarotstrahlung können wir mit unserer Haut spüren. Infrarotstrahlung wird von Gegenständen auf Grund ihrer Temperatur emittiert (emittieren = aussenden). Auch du emittierst Infrarotstrahlung!

Die physikalische Größe, anhand derer die verschiedenen Strahlungsarten unterschieden werden, ist die Wellenlänge λ („lambda”). Jede Art der elektromagnetischen Strahlung wird durch einen bestimmten Wellenlängenbereich definiert.

Heute wirst du einiges über **Mikrowellenstrahlung** erfahren. Die Wellenlängen von Mikrowellen liegen im Bereich von 1m bis 1mm. Mikrowellenstrahlung wird z.B. zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen, zur Kommunikation mit Handy oder WLAN und fürs Satellitenfernsehen eingesetzt.

Abbildung 5.30: Der überarbeitete Einführungstext zu elektromagnetischer Strahlung

5.3.3.2 Merksätze bilden

Im Allgemeinen sind bei dieser Übung keine Schwierigkeiten aufgetreten. Die Aufgabenstellung war klar und wurde im Großen und Ganzen korrekt umgesetzt. Einzig die Anzahl der Merksätze wurde von der Schülerin nicht wahrgenommen. Der Schüler befolgte die Anweisungen und verfasste genau drei Merksätze.

Eine Möglichkeit wäre, keine Anzahl an Sätzen vorzugeben. Die Überlegung hierbei war jedoch, dass die Schülerinnen und Schüler versuchen sollen, die vier vorgegebenen Bezeichnungen in drei Merksätzen zu verpacken. Somit ist gefordert, in einen Satz zwei der Bezeichnungen unterzubringen. Dies soll verhindern, dass die Sätze aus dem Text abgeschrieben werden.

Vorerst wird diese Übung nicht verändert werden und auf die Auswertung der Ergebnisse aus den Durchführungen in den Klassen gewartet. Anschließend wird beschlossen werden, wie weiter vorgegangen wird.

5.3.3.3 Erste Forschungsstation

Da diese Aufgabe verhältnismäßig zu lange dauerte und an verschiedenen Stellen Probleme aufwarf, wurden Teile der 1. Forschungsstation weggelassen oder stark verändert. Vorweg sei ebenfalls zu erwähnen, dass die Anzahl der gestuften Lernhilfen bei dieser Station auf eine reduziert wurde.

Da der Begriff „Hot Spot“ den Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten bereitete und ihnen nicht klar war, dass damit die geschmolzenen Stellen gemeint sind, wurde die Versuchsanleitung angepasst. Die Passage „zwischen den geschmolzenen ‚Hot Spots‘ auf der Schokolade“ wurde durch „zwischen den geschmolzenen Bereichen (‚Hot Spots‘)“ ersetzt (vgl. Abb. 5.31). Zudem wurde durch die Beobachtung, dass die Schokolade mit der gerillten Seite nach oben auf den Teller gelegt wurde, die Anleitung um die Erklärung, wie die Schokolade genau zu platzieren sei, ergänzt (vgl. Abb 5.31).

Material:	Mikrowellenofen, Schokolade, Teller, Stoppuhr, Lineal
Anleitung:	Packe die Schokolade aus der Folie aus und lege sie in die Mitte des Tellers. Achte dabei darauf, dass du die Schoko mit der glatten Seite nach oben platzierst. Platziere den Teller im hinteren Bereich des Mikrowellenofens und schalte diesen bei 600 W für 45 Sekunden ein. Miss die Zeit mit einer Stoppuhr! Nimm den Teller aus dem Mikrowellenofen – Achtung heiß! – und miss mit dem Lineal den Abstand zwischen den geschmolzenen Bereichen („Hot Spots“) auf der Schokolade. Notiere dir den Wert.

Abbildung 5.31: Die überarbeitete Versuchsanleitung der ersten Forschungsstation

Auf das Notieren der Werte des Abstands, sowie der Wellenlänge wurde weitestgehend vergessen. Deshalb wurde das Arbeitsblatt um zwei Kästchen erweitert (vgl. Abb. 5.32), die dem Eintragen der entsprechenden Werte dienen.

Abbildung 5.32: Die Arbeitsaufträge der ersten Forschungsstation

Um eine einheitlichere Formatierung zu erlangen, wurde die 1. Zusatz-Info auf das Ende des Blattes gerückt und das Format dementsprechend verändert (vgl. Abb. 5.33).

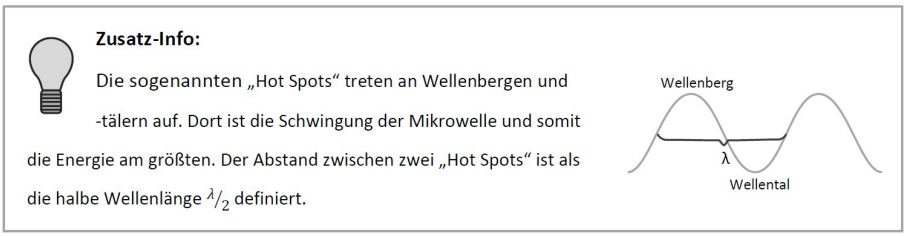


Abbildung 5.33: Die Zusatz-Info der ersten Forschungsstation

Die Aufgabe zur Beschriftung der Abbildung wurde entfernt, da einerseits die Schwingung der Welle durch die Abbildung nicht zu demonstrieren war und demnach die Positionen der „Hot Spots“ irreführend sein können und andererseits Verständnis-Probleme bei der Beschriftung der halben Wellenlänge aufgetreten sind. Hier warf sich die Frage auf, inwiefern es sinnvoll sei, die Schülerinnen und Schüler die halbe Wellenlänge einzeichnen zu lassen.

Die gestuften Lernhilfen dieser Station wurden anhand der Ergebnisse der Think-Alouds überarbeitet. Dabei wurde einerseits darauf Wert gelegt, die Formulierungen anzupassen beziehungsweise gewisse Tipps komplett neu zu formulieren, und andererseits die Anzahl der Lernhilfen für die erste Forschungsstation auf eine zu reduzieren. Pro Forschungsstation gibt es somit je einen Umschlag mit jeweils einer gefalteten Lernhilfe, auf der sich insgesamt drei Tipps befinden.

Da das Messen des Abstands zwischen den „Hot Spots“ bei den Think-Alouds etwaige Probleme aufwarf und die entsprechende gestufte Lernhilfe keine Abhilfe bot, wurde beim ersten Tipp der überarbeiteten Lernhilfe besonderes Augenmerk auf die genaue Formulierung des Abstandmessens gelegt:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Um den Abstand zwischen den geschmolzenen Bereichen zu messen, miss mit einem Lineal von einer geschmolzenen Stelle zu einer anderen geschmolzenen Stelle und notiere dir den Wert. Es macht nichts, wenn die „Hot Spots“ nicht gleich groß sind.*

Der zweite Tipp wurde ebenfalls umgeändert, der Fokus liegt nun auf dem ungefähren Wert des Abstandes zwischen den „Hot Spots“ und zusätzlich wird auf die Zusatz-Info verwiesen:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Der von dir und deiner Forschungsgruppe gemessene Wert, also der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“, sollte zwischen 6 cm und 7 cm liegen. Lies dir mit deinem Forschungsteam die Tipps aus dem Zusatz-Info Kästchen durch!*

Als dritte Stufe folgt ein Tipp zur Ermittlung der Wellenlänge aus dem Experiment:

> ***Tipp Nr. 3:*** *Die „Hot Spots“ sind sehr heiße Stellen, die an Wellenbergen und Wellentälern auftreten. Du hast den Abstand zwischen diesen Stellen auf der Schokolade gemessen und dieser Wert ist die Hälfte der Wellenlänge λ.*

Wie schon erwähnt wurde die Station stark verändert, so wurde das Arbeitsblatt zu dieser Station auf eine Seite verkürzt und die Rechenaufgabe als Zusatzaufgabe separat in der Arbeitsmappe angeführt.

5.3.3.4 Zusatzaufgabe

Die Aufgabe zur Berechnung der Wellenlänge wurde als Zusatzaufgabe angeführt. Wenn die Schülerinnen und Schüler nach Bearbeitung dieser oder einer anderen Station Zeit übrig haben, könnten sie sich die Wellenlänge berechnen. Da beobachtet wurde, dass beide Schülerinnen und Schüler beim Think-Aloud tendenziell mehr Zeit bei Forschungsstationen 1 und 2 benötigten, wurde auf der letzten Seite der Arbeitsmappe, nach der Forschungsstation 3, diese Übung als Zusatz angeführt. Die Zeit, die für die Bearbeitung der Zusatz-Aufgabe benötigt wird, könnte im Idealfall als Überbrückung dienen. Das heißt, während zwei Forschungsgruppen an den Stationen 1 und 2 arbeiten, kann die Forschungsgruppe an der Station 3, welche im Normalfall schneller bearbeitet wird als die anderen beiden, als Überbrückung der Wartezeit auf den Wechsel der Stationen, die Zusatzaufgabe bearbeiten. Hier sei zu erwähnen, dass es für die Berechnung der Wellenlänge nicht unbedingt notwendig ist, das Experiment zur Wellenlänge zuvor durchgeführt zu haben.

Die Aufgabe wurde komplett überarbeitet und auf eine Seite angepasst. Die Angabe wurde verändert (vgl. Abb. 5.34) und neben den beiden unveränderten Arbeitsaufträgen wurden Kästchen für den Wert der Frequenz, den berechneten Wert der Wellenlänge, sowie den gemessenen Wert der Wellenlänge eingefügt (vgl. Abb. 5.34). Bei diesen Kästchen wurde die benötigte Einheit schon angeführt, damit die Schülerinnen und Schüler nicht auf das Umformen vergessen.

Berechne die Wellenlänge λ der Mikrowellen des Mikrowellenofens, bevor du sie an der Forschungsstation 1 in einem Experiment ermittelst!

Warst du schon bei dieser Forschungsstation, dann überprüfe dein Ergebnis für die Wellenlänge λ der Mikrowellen des Mikrowellenofens!

Auf der Rückseite des Mikrowellenofens steht die Frequenz *f*. Notiere dir den Wert.

Wert der Frequenz *f*: _____ Hz

Die Frequenz *f*, die Ausbreitungsgeschwindigkeit *c* und die Wellenlänge *λ* werden durch diese **Formel** beschrieben: $f = \frac{c}{\lambda}$

Forme die Gleichung um und berechne die Wellenlänge λ:

Berechneter Wert der Wellenlänge *λ*: _____ cm

Gemessener Wert der Wellenlänge *λ*: _____ cm

Abbildung 5.34: Die überarbeitete Angabe und die hinzugefügten Kästchen der Zusatzaufgabe

Ein weiterer Arbeitsauftrag wurde ergänzt, bei dem die Schülerinnen und Schüler die beiden Werte für die Wellenlänge λ vergleichen sollen (vgl. Abb. 5.35).

Sind die beiden Werte für *λ* gleich? Falls nicht, was könnte der Grund dafür sein?

Abbildung 5.35: Die Frage zu den beiden Werten von λ und die Zusatz-Info

Die Zusatz-Info wurde auf das Ende der Seite gerückt und blieb unverändert (vgl. Abb. 5.36). Dadurch wurde erreicht, dass sich die Zusatz-Info Kästchen nun im gesamten Material jeweils am Ende der Arbeitsblätter befinden.

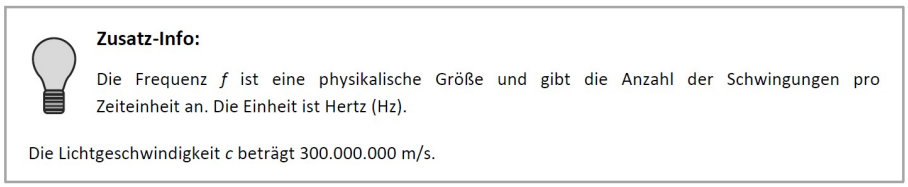


Abbildung 5.36: Die Frage zu den beiden Werten von λ und die Zusatz-Info

Für die Berechnung der Wellenlänge wurde die bereits vorhandene gestufte Lernhilfe leicht überarbeitet.
Da beim Think-Aloud der Wert der Frequenz nicht auf dem Zettel notiert wurde und es durch die Größe der Zahl möglich ist, dass der Wert falsch abgeschrieben wird, wurde dies im ersten Tipp ergänzt. Ebenso wurde „2. Zusatz-Info“ durch „Zusatz-Info“ ausgebessert, da nur ein Zusatz- Info Kästchen vorhanden ist:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des Zusatz-Info Kästchens durch. Kontrolliere, ob der Wert der Frequenz f korrekt vom Mikrowellenofen notiert ist. Könnt ihr mit diesen Informationen den Wert der Wellenlänge λ berechnen?*

Da der Schüler bei der Berechnung der Wellenlänge nicht auf die richtigen Einheiten geachtet hat, wurde beim 2. Tipp der Lernhilfe ein extra Hinweis bezüglich der Einheiten ergänzt. Ebenso wurde die umgeformte Gleichung bereits in diesem Tipp dargestellt:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Schreibe dir die Werte für f und c auf und setze die Werte in die Formel ein. Forme die Gleichung um und berechne: $\lambda = \frac{c}{f}$. Achte bei deinem Ergebnis auf die korrekte Einheit! Gib λ in cm und nicht in m an.*

In der gestuften Lernhilfe wurde der korrekte Wert, der bei der Berechnung der Wellenlänge herauskommt, bisher nicht angegeben. Bei der Überarbeitung des 3. Tipps wurde dies angepasst. Auf Grund der neuen Aufgabenstellung wurde die Antwort auf die Frage, weshalb es zu ungleichen Werten für die Wellenlänge kommen kann, im dritten Hinweis ebenfalls ergänzt:

> ***Tipp Nr. 3:*** *Das Ergebnis für die Berechnung der Wellenlänge λ ist 0,1224 m bzw. 12,24 cm. Messungen sind, im Vergleich zu Berechnungen, in der Regel etwas ungenauer. Die Ergebnisse aus der Messung und der Berechnung der Wellenlänge λ sind deshalb nicht gleich.*

5.3.3.5 Zweite Forschungsstation

Bei der Bearbeitung der zweiten Forschungsstation traten mehrere Verständnisschwierigkeiten auf, besonders in Bezug auf die Durchführung des Versuchs. Die Versuchsanleitung wurde überarbeitet und nochmals dezidiert angegeben, dass alle Materialien getestet werden sollen (vgl. Abb. 5.37). Hierfür wurde ebenfalls ergänzt, welche Materialien der Reihe nach getestet werden sollen.

Material:	Zwei Handys bzw. Smartphones, Box aus Kunststoff, Kartonschachtel, Alufolie, Zwei Keramik-Töpfe, Silbergitter-Stoff, Edelstahlgewebe
Anleitung:	Teste alle Materialien auf ihre Eigenschaften bei Interaktion mit Mobilfunkstrahlung. Achte dabei darauf, dass jedes Material einzeln getestet wird und gehe Schritt für Schritt vor. Ein Handy musst du dafür vollständig mit dem jeweiligen Material umgeben. Achte dabei darauf, dass das Handy von allen Seiten mit Material bedeckt ist! Anschließend rufst du es mit dem anderen Handy an. Teste zuerst die Box aus Kunststoff, dann die Kartonschachtel, dann die Alufolie, die Keramik-Töpfe, den Silbergitter-Stoff und zuletzt das Edelstahlgewebe. Notiere deine Beobachtungen zu allen Materialien und überlege dir eine Erklärung!

Abbildung 5.37: Die überarbeitete Versuchsanleitung zur zweiten Forschungsstation

Die Kästchen der Tabelle, in die die Beobachtungen notiert werden sollen, wurden vergrößert, damit die Schülerinnen und Schüler beim Eintragen mehr Platz haben. Zusätzlich wurde, wie zuvor bei der ersten Forschungsstation, die Zusatz-Info auf das Ende des ersten Arbeitsblattes gesetzt.

Die Beobachtungen zu dem Versuch konnten bei den Think-Alouds nicht korrekt erklärt werden und zusätzlich fehlte der Zusammenhang zu den verwendeten Materialien. Es wurde demnach eine extra Frage zu den Materialien und deren Zusammenhang zu den Ergebnissen des Versuchs gestellt (vgl. Abb. 5.38).
Durch unzureichend Platz auf der ersten Seite der zweiten Forschungsstation rückten die beiden Fragen zu den Erklärungen des Versuchs auf die zweite Seite.

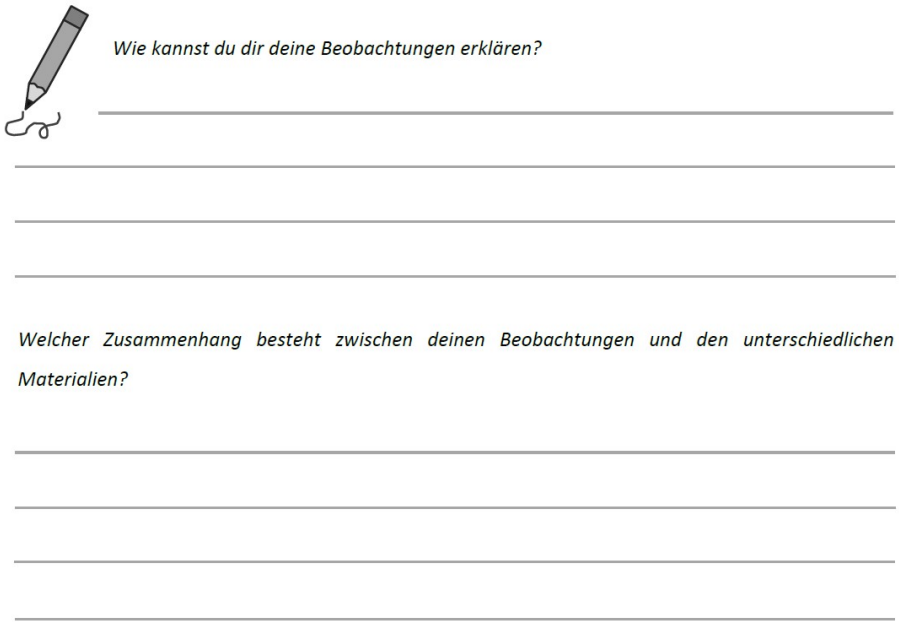


Abbildung 5.38: Die Fragen zu den Erklärungen des Versuchs der zweiten Forschungsstation

Zudem war es notwendig, die ersten beiden Hinweis-Kärtchen dieser Station anzupassen. Besonders beim ersten Tipp zur Durchführung des Versuchs gab es grobe Unverständlichkeiten. Da mehr Informationen angeführt werden mussten, um die Versuchsdurchführung klarer zu gestalten, wurde dieser Tipp etwas länger:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Leg ein Handy in die Kunststoff-Box, verschließe die Box und rufe es mit dem anderen Handy an. Mach dann dasselbe mit der Kartonschachtel. Danach umwickelst du ein Handy vollständig mit Alufolie und rufst es wieder mit dem anderen an. Wickle es aus und lege es in den Topf und stelle den anderen kopfüber darauf. Rufe es mit dem anderen Handy an. Teste zuletzt den Silbergitter-Stoff und dann das Edelstahlgewebe. Auch hier umwickelst du das eine Handy und rufst es mit dem anderen an.*

Der 2. Tipp der gestuften Lernhilfe wurde nur minimal verändert:

> ***Tipp Nr. 2:*** *Notiere in die zugehörigen Kästchen, was du bei den Versuchen beobachten konntest. Mögliche Beobachtungen: Es funktioniert und Mobilfunkstrahlung wird durchgelassen (transmittiert), oder es funktioniert nicht und Mobilfunkstrahlung wird abgeschirmt (reflektiert).*

5.3.3.6 Dritte Forschungsstation

Bei dieser Station gab es generell wenige Komplikationen. Die Schülerinnen und Schüler vergaßen auf die korrekte Zeitmessung, weshalb in der Liste der Materialien eine Stoppuhr angeführt wurde und in der Anleitung auf das Stoppen der Zeit verwiesen wurde (vgl. Abb. 5.39).

Material:	Mikrowellenofen, Zwei Gläser, Wasser, Alufolie, Thermometer, Stoppuhr
Anleitung:	Fülle beide Gläser halb mit Wasser und miss die Anfangstemperaturen. Notiere dir die Werte. Umhülle ein Glas vollständig mit Alufolie. Achte darauf, dass keine Kanten entstehen und die Oberfläche glatt bleibt. Drücke dafür die Alufolie so dicht wie möglich an das Glas. Stelle beide Gläser für 45 Sekunden bei höchster Stufe in den Mikrowellenofen. Stoppe die Zeit. Miss die Endtemperaturen des Wassers beider Gläser erneut und notiere dir die Werte.

Abbildung 5.39: Die überarbeitete Versuchsanleitung zur dritten Forschungsstation

Bei der Zusatz-Info auf dem Arbeitsblatt hat sich ein Tippfehler eingeschlichen, auf den die Schülerin beim Lesen des Textes aufmerksam geworden ist. Statt Wärmeenergie steht fälschlicherweise Wärmenergie, was ausgebessert wurde.

Auf Grund irreführender Formulierungen wurden die Kästchen der Tabelle mit den Bezeichnungen „Glas ohne“ und „mit Alufolie“ umgeändert zu „Wasser in Glas ohne“ und „mit

Alufolie“ (vgl. Abb. 5.40). Bei dem Versuch geht es um die Temperaturen des Wassers in den Gläsern und nicht die der Gläser.

Wassertemperatur	Wasser in Glas ohne Alufolie	Wasser in Glas mit Alufolie
Anfangstemperatur	°C	°C
Endtemperatur	°C	°C

Abbildung 5.40: Die überareitete Tabelle der dritten Forschungsstation

5.3.4 Änderungen – Zweite Unterrichtsstunde

Durch die Erkenntnisse aus den Testungen des Materials für die Diskussionsrunde in zwei der drei 4. Klassen wurden einige Verbesserungen und Änderungen am Material vorgenommen. Dieser Schritt war entscheidend, um das Unterrichtsmaterial anhand des Design-Based Research Ansatzes vor der nächsten Durchführung im Unterricht überarbeiten zu können.

5.3.4.1 Moderations-Kärtchen

Die Kärtchen für die Moderation wurden stark überarbeitet. Das Kärtchen, auf dem die einzelnen Studien der Reihe nach aufgeführt sind, wurde um Fragen ergänzt, die nach der Vorstellung der jeweiligen Studien an die Expertinnen und Experten gestellt werden sollen (vgl. Abb. 5.41).

- 1. Studie UK
  - Frage an die ExpertInnen: Was sind sogenannte Gliome?
- 2. Studie Dänemark
  - Frage an die ExpertInnen: Gibt es Informationen zur Strahlungsintensität von Mobiltelefonen?
  - Frage an die ExpertInnen: Weiß jemand wie das Mobilfunknetz funktioniert? (Stichwort: Basisstationen)
- 3. Studie Schweden
  - Frage an die ExpertInnen: Wie hoch ist das Risiko an Hirntumoren zu erkranken? (Falls schon erwähnt, nochmal darauf hinweisen, besonders was die Verdoppelung des Risikos bedeutet)
  - Frage an die ExpertInnen: Was können weitere mögliche Ursachen von Krebs sein? Wodurch kann das Risiko an Krebs zu erkranken noch erhöht werden? (Stichwort: Karzinogene)
- 4. INTERPHONE Studie
  - Frage an die ExpertInnen: Woher wissen wir, wie viel Mobilfunk-Strahlung vom menschlichen Körper absorbiert wird? (Stichwort: SAR-Wert)
- 5. Studie USA
  - Frage an die ExpertInnen: Wie können diese Ergebnisse aus biologischer Sicht erklärt werden?

Abbildung 5.41: Die einzelnen Studien und entsprechenden Fragen an die Expertinnen und Experten

Dies stellt noch mehr Bezug zu den Informationen der Expertinnen- und Experten-Kärtchen her und gewährt einen fließenderen Schlagabtausch. Außerdem behält die Moderation so

den Überblick über erwähnte Informationen und kann die Expertinnen und Experten gezielt ansprechen.
Zusätzlich wurden die Kärtchen umformatiert und durch zusätzliche Informationen erweitert (vgl. Abb. 5.42 und 5.43).

Thema der Diskussion:

- „Mobilfunkstrahlung – Gefahr oder Nutzen“
- Diskussionsrunde mit
  - VertreterInnen verschiedener Studien
  - ExpertInnen
  - Komitee-Mitgliedern
- Die StudienvertreterInnen stellen die unterschiedlichen Studien vor.
- Die ExpertInnen präsentieren wichtige Zusatzinformationen.
- Das Komitee sammelt während der Diskussion Informationen, kategorisiert sie, stellt Fragen und fällt am Ende ein Urteil.
- Ziel der Debatte:
  - Einigung oder Kompromiss
- Einteilung der SchülerInnen in die unterschiedlichen Gruppen
  - StudienvertreterInnen (5 bzw. 10), ExpertInnen (7), Komitee-MitgliederInnen (3 bzw. 5)

Abbildung 5.42: Das erste Moderatorin- oder Moderator-Kärtchen

- Gesprächsregeln auffrischen
  - Wertschätzender Umgang miteinander
  - Einander ausreden lassen
  - Aktiv zuhören und Bezug zu bereits Erwähntem herstellen
- 10 Minuten Zeit, um die Info-Kärtchen zu lesen, die Fragen zu beantworten und Argumente auszuarbeiten
  - Komitee-Mitglieder sollen Vermutungen aufstellen und gemeinsam Fragen formulieren

Einleitende Worte zur Diskussion:

- Der aktuelle Stand der Forschung bzgl. Mobilfunkstrahlung und Krebs ist widersprüchlich:
  - Einerseits gibt es Nachweise, dass kein Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und der Erkrankung an Gehirntumoren besteht.
  - Andererseits liegen Beweis für einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und Hirntumor-Erkrankungen vor.
- Beginn der Diskussion mit der Vorstellung der Studien (der Reihe nach), nach jeder Studie werden Fragen an die ExpertInnen gestellt.

Abbildung 5.43: Das zweite Moderatorin- oder Moderator-Kärtchen

5.3.4.2 Expertinnen- und Experten-Kärtchen

Das Expertinnen- und Experten-Kärtchen mit Informationen zu ionisierender und nicht-ionisierender Strahlungen wurde verändert (vgl. Abb. 5.44). Hauptsächlich ging es dabei

um die bessere Verständlichkeit und Umformulierung der bestehenden Informationen.

- Die Kosmische Hintergrundstrahlung aus dem Weltall liegt im Bereich der Mikrowellenstrahlung und erfüllt das ganze Universum. Sie ist die älteste Strahlung im Universum.
- Mobilfunkstrahlung ist Teil der Mikrowellenstrahlung. Und Mikrowellenstrahlung ist aus physikalischer Sicht Teil der nicht ionisierenden Strahlungsarten.
  - Andere nicht ionisierende Strahlungsarten sind z.B. sichtbares Licht oder Infrarotstrahlung.
- Ionisierende Strahlungsarten sind z.B. UV-Strahlung, Röntgenstrahlung oder Gammastrahlung.
  - Ionisierende Strahlung greift die DNA biologischer Zellen an und beschädigt sie, wodurch Tumore entstehen können.
  - Mikrowellenstrahlung ist nicht ionisierend und besitzt nicht genug Energie, um biologische Zellen dauerhaft zu verändern.
- Eigenschaften von Mikrowellenstrahlung:
  - Mikrowellenstrahlung wird von Metallen reflektiert. Wasser und wasserhaltige Substanzen absorbieren Mikrowellenstrahlung, dabei wird die Strahlungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt. Andere Materialien wie Glas, Keramik, Kunststoff und Karton transmittieren (=durchlassen) Mikrowellenstrahlung.

Abbildung 5.44: Die Expertinnen- und Experten-Info zu ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung

Zusätzlich zum Begriff „Argument“ wurde das Wort „Aussage“ angeführt, da die Expertinnen und Experten teilweise Probleme hatten, den Terminus „Argument“ zu verstehen. Durch diese Änderung sollte verständlicher sein, was sich die Expertinnen und Experten notieren sollen (vgl. Abb. 5.45).

Lies dir die Informationen auf deinem Experten-Kärtchen durch und schreibe die besten drei Argumente (wichtige Aussagen) auf!

Abbildung 5.45: Der überarbeitete Arbeitsauftrag für die Expertinnen und Experten

5.3.4.3 Studien-Kärtchen

Beim Arbeitsauftrag für die Studienvertreterinnen und -vertreter wurden die Begriffe „Studiendesign“ und „Rahmenbedingungen“ auf Grund von Verständnisschwierigkeiten durch „Art der Studie“, „Dauer“ und „sonstige Infos“ausgetauscht (vgl. Abb. 5.46).

Lies dir die Informationen zur Studie durch und fasse die wichtigsten Aspekte zusammen (Art der Studie, Dauer, sonstige Infos, Ergebnisse)!

Abbildung 5.46: Der überarbeitete Arbeitsauftrag für die Vertreterinnen und Vertreter der Studien

Da viele Schülerinnen und Schüler Schwierigkeiten hatten, den Terminus „Studiendesign“ zu verstehen, wurden die Info-Kärtchen der verschiedenen Studien überarbeitet und stattdessen die Bezeichnung „Art der Studie“ angeführt (vgl. Abb. 5.47).
Die Schülerinnen und Schüler kannten die Begriffe „Kohortenstudie“, „Fall-Kontroll Studie“ und „Längsschnittstudie“ nicht und taten sich mit diesen Bezeichnungen dementsprechend

schwer. Dies wurde zum Anlass genommen, die verschiedenen Arten der Studien zuerst zu erklären und die Fachausdrücke anschließend ergänzend zu erwähnen (vgl. Abb. 5.47).
Das Wort „Kontrollgruppe“ wurde in Klammer gesetzt und angeführt, dass es sich dabei um die Gruppe gesunder Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer handelt, damit dies den Schülerinnen und Schülern klarer ist und weniger Verwirrung bezüglich dieser Bezeichnung aufkommt (vgl. Abb. 5.47).

Diese Studie wurde in Dänemark durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie werden zwei Gruppen beobachtet und ein möglicher Zusammenhang zu einer Erkrankung untersucht. Man nennt Studien dieser Art „Kohortenstudien“.
  - Es wurden die gesundheitlichen Daten aller MobilfunknutzerInnen in Dänemark erfasst. Die Daten der MobilfunknutzerInnen wurden anschließend mit den Daten einer anderen Gruppe verglichen, die keine Mobiltelefone nutzte und bezüglich Alter, Geschlecht und Herkunft der Gruppe der MobilfunknutzerInnen ähnlich war. Anschließend wurde untersucht, wie viele Personen aus beiden Gruppen an Gehirntumoren (Gliomen) erkrankten.
- Die Studie ging insgesamt über einen Zeitraum von 9 Jahren (1987 bis 1995) und bis 2007 wurden die medizinischen Daten der TeilnehmerInnen weiter verfolgt. Es nahmen rund 360.000 MobilfunknutzerInnen teil.
- Die Anzahl der Tumorerkrankungen in der Gruppe der MobilfunknutzerInnen wurde mit der anderen Gruppe (auch Kontrollgruppe genannt) verglichen. Durch die Anzahl der Krebserkrankungen in beiden Gruppen konnte ein möglicher Zusammenhang zur Nutzung von Mobiltelefonen analysiert werden.
- Ergebnis:
  - Zwischen den beiden Gruppen – Handynutzer und Gruppe, die keine Handys nutzt– wurde kein großer Unterschied bezüglich der Erkrankung an Hirntumoren gefunden.
  - Obwohl frühere Handys höhere Strahlungsintensitäten emittierten (emittieren = aussenden), deuteten die Ergebnisse der Studie auf kein erhöhtes Risiko für die Erkrankung an Gliomen durch Mobiltelefon-Nutzung hin.

Abbildung 5.47: Das Kärtchen mit Informationen zur Studie Dänemark

5.3.4.4 Komitee-Kärtchen

Für die Schülerinnen und Schüler im Komitee war unklar, wie viele Fragen sie notieren sollen. Der Arbeitsauftrag wurde dahingehend ergänzt, dass für die Komitee-Mitglieder klar wird, dass sie sich zwei Fragen überlegen sollen:

- *Was denkst du über die Gefahren von Mobilfunkstrahlung?*
  Schreibe zwei Ideen auf!

Zusätzlich wurden die Pro- und Kontra-Kärtchen um die Bezeichnung „Mobilfunkstrahlung“ erweitert (vgl. Abb. 5.48), damit für die Schülerinnen und Schüler klarer wird, wofür bzw. wogegen sie Argumente notieren sollen.

PRO Mobilfunkstrahlung +	KONTRA Mobilfunkstrahlung -

Abbildung 5.48: Die überarbeitete Pro- und Kontra-Tabelle

5.4 Zweite Überarbeitung

Im folgenden Kapitel werden die Erkenntnisse aus der zweiten Testphase des Materials der ersten und zweiten Unterrichtsstunde angeführt, sowie die daraus folgenden Überarbeitungen der einzelnen Aufgaben erklärt. Für diese Testphase wurde das Lernmaterial in einer realen und komplexen Lernumgebung erprobt, in der Schule. An einem Gymnasium erklärten sich zwei Physiklehrerinnen und -lehrer mit insgesamt drei vierten Klassen bereit, an der Testung des Unterrichtsmaterials teilzunehmen.
Die Arbeitsmappe der ersten Unterrichtsstunde wurde somit das erste Mal im großen Rahmen getestet. Das Material für die Diskussionsrunde wurde in der ersten Testphase bereits in zwei der drei vierten Klassen getestet, siehe 5.3.2, und durchläuft jetzt die zweite Testung in der Schule.

5.4.1 Erkenntnisse – Erste Unterrichtsstunde

In der zweiten Testphase wurde die erste Stunde der Unterrichtseinheit in drei vierten Klassen erprobt. Zwei der drei vierten Klassen wurden, wie bereits in 5.3.2 erwähnt, von derselben Lehrperson unterrichtet. Die Lehrpersonen wurden kontaktiert und in einem ersten Gespräch die Arbeitsmappe samt Ablauf der Stunde besprochen. Es wurde eine Kurzanleitung für Lehrpersonen bereitgestellt, die organisatorische Feinheiten und die genaue zeitliche Abfolge der einzelnen Unterrichtsphasen enthielt. Die Stunden wurden alle in der Woche vor Ostern gehalten und die Erkenntnisse aus den Durchführungen, den Beobachtungen und den Auswertungen der Arbeitsmappen ebneten den Weg für eine erfolgreiche Überarbeitung des Materials.

5.4.1.1 Allgemeine Erkenntnisse

In einer der Klassen befand sich die Schülerin, die bei dem Think-Aloud teilgenommen hatte. Dies konnte genutzt werden, indem sie als beratende „Expertin“ den anderen Schülerinnen zur Seite stand. Die Lehrperson wies sie zu Beginn darauf hin, dass sie den Schülerinnen keine Lösungen ansagen oder ohne deren Wunsch Tipps geben soll, was von der Schülerin so umgesetzt wurde. Die Tatsache, dass sie die Stationen kannte und mit dem Ablauf vertraut war, war keineswegs hinderlich. Ganz im Gegenteil, so konnte diese Schülerin eine Rolle einnehmen, die den Schülerinnen und Schülern im Schulalltag eher verwehrt bleibt, nämlich die Rolle einer Lehrenden. Die Schülerin bewegte sich selbstsicher durch das Klassenzimmer und stand den jeweiligen Forschungsteams bei den verschiedenen Stationen mit Rat und Tat zur Seite. Sei es mit hilfreichen Tipps zur Durchführung oder dem Hinweis des nochmaligen und genauen Lesens der Angabe, man konnte erkennen, dass sie sich in dieser Rolle wohl fühlte.

Es ist aufgefallen, dass der Lärmpegel in einer Klasse zu Beginn der Stunde relativ hoch

war. Dies hing womöglich zum einen Teil damit zusammen, dass neben der Lehrkraft eine weitere Person anwesend war, die die Stunde hospitierte und zum anderen Teil damit, dass die Aufregung über die bevorstehende Stunde erhöht war. Kommentare wie „ Na da haben Sie ja das ganze Physik-Kammerl ausgeräumt“, „Cool, Mikrowellen“, „Uh, da ist auch Schokolade“, oder „Führen wir heute Versuche durch?“ deuteten auf vermehrtes Interesse hin.

Es konnte beobachtet werden, dass die Schülerinnen und Schüler in den Gruppen und an den Stationen aktiv gearbeitet haben und nahezu alle in den Bearbeitungsprozess miteinbezogen wurden. Bei Gruppenarbeiten wird es jedoch tendenziell so sein, dass manche Schülerinnen und Schüler mehr und andere weniger arbeiten. Die Hospitationen der verschiedenen Klassen zeigten trotzdem einen hohen Anteil an Beteiligung der Schülerinnen und Schüler in den jeweiligen Forschungsgruppen.

Einteilen der Gruppen

Das Durchzählen und Einteilen in Gruppen stellte keine Schwierigkeit dar und funktionierte recht rasch. Im Schnitt waren zwischen vier und acht Schülerinnen und Schüler in einer Gruppe, abhängig von der Klassengröße. In einer Klasse wurde die Einteilung der Gruppen vor der Durchführung der ersten Aufgabe durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler bearbeiteten die Aufgabe zu den Merksätzen anschließend in kleineren Gruppen innerhalb der schon aufgeteilten Forschungsgruppen. Dies war jedoch für die Übung und den weiteren Verlauf der Stunde irrelevant und beeinflusste den Arbeitsprozess kaum.

Nutzung der gestuften Lernhilfen

Die Lehrpersonen haben die Schülerinnen und Schüler auf die Lernhilfen hingewiesen und betonten, dass sie bei aufkommenden Fragen die Tipps lesen sollten. Die Schülerinnen und Schüler nutzten die Lernhilfen mäßig. Es konnte jedoch beobachtet werden, dass die Schülerinnen und Schüler im Laufe der Unterrichtsstunde, gegen Mitte bis Ende der Stunde, eher zu den Hinweisen gegriffen haben. Dies kann wahrscheinlich darauf zurückzuführen sein, dass die Schülerinnen und Schüler mit dieser Lernmethode nicht vertraut waren und deshalb etwas Zeit brauchten, um damit zu arbeiten.

Verhalten der Lehrpersonen

Die Lehrpersonen leiteten die Schülerinnen und Schüler bei aufkommenden Unklarheiten oder Problemen durch fragend entwickelnde Lehrprozesse an, hielten sich bei den Forschungsstationen ansonsten im Hintergrund. Es wurde auf das nochmalige Lesen der Angaben und die gestuften Lernhilfen hingewiesen, manchmal gaben die Lehrkräfte auch spezifischere Instruktionen, was zu einer reibungsloseren Durchführung des Stationenbetriebs führte. Dies betraf zum Beispiel das vollständige Abdecken des Glases mit Alufolie, das vollständige Umwickeln der *Smartphones* mit Material, oder das Messen der „Hot Spots“ auf der Schokolade.

5.4.1.2 Zeitlicher Rahmen

Generell wurde anhand der Hospitationen beobachtet, dass der zeitliche Rahmen von einer Unterrichtsstunde für die Bearbeitung der Arbeitsmappe ausreicht. In allen Klassen konnten die Einführungsübung sowie die drei Forschungsstationen von den einzelnen Forschungsteams in der vorgegebenen Zeit bearbeitet werden. Dabei wurden von rund 65% der Schülerinnen und Schüler alle Übungen aus der Arbeitsmappe bearbeitet.

Es ist aufgefallen, dass durch das Bearbeiten der ersten Übung und dessen Charakter die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler auf die Arbeitsblätter gerichtet war und in die Klassen schnell Ruhe eingekehrt war. Dies war sehr lernförderlich und ebnete den Weg für die erfolgreiche Umsetzung der zeitlichen Planung der Unterrichtsstunde. Im Schnitt benötigten die Schülerinnen und Schüler für die Bildung der Merksätze 12 Minuten, also etwas länger als dafür geplant gewesen ist.
Bei der Bearbeitung der zweiten Station brauchten die Schülerinnen und Schüler tendenziell etwas länger, als bei den anderen Stationen. Der Grund dafür wird zum Teil die Versuchsdurchführung gewesen sein (vgl. Abb. 5.15), die anhand der in 5.4.1.5 angeführten Erkenntnisse überarbeitet wurde. Im Schnitt hatten die Schülerinnen und Schüler für die Unterrichtsphase des Stationenbetriebs pro Station 9 Minuten Zeit.

5.4.1.3 Merksätze bilden

Ein paar Schülerinnen und Schüler fragten, ob sie bei der ersten Übung denn nicht auch zwei Sätze schreiben könnten, andere fragten ob sie vier schreiben könnten. Eine Lehrperson gab die klare Anweisung, drei Sätze mit vier Wörtern zu schreiben, wie es auch anhand der Angabe zu erkennen war. Eine Schülerin meinte, dass sie nicht erkannt hat, dass es drei Merksätze sein sollen, da die Zahl ausgeschrieben war, die drei also nicht numerisch dargestellt war.

Eine Lehrperson erkundigte sich, ob die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler mit der Aufgabe fertig sei und fragte anschließend drei Schülerinnen und Schüler der Klasse nach den von ihnen notierten Merksätzen. Dadurch konnten Schülerinnen und Schüler, die mit der Aufgabe noch nicht fertig waren, einen Eindruck über mögliche Merksätze erlangen. Ebenfalls positiv zu beobachten war der Effekt, dass die schnellen Schülerinnen und Schüler durch das Gespräch in das Unterrichtsgeschehen eingebunden wurden und dadurch beschäftigt wurden.

Analyse der Aufgabe

Es konnte anhand der Arbeitsblätter beobachtet werden, dass rund 50% der Schülerinnen und Schüler der Angabe folgten und die Aufgabe, drei Merksätze anhand der vorgegebenen Wörter zu bilden, korrekt lösten. 28% der Schülerinnen und Schüler schrieben vier Sätze, was möglicherweise auf die Anzahl an vorgegebenen Wörtern zurückzuführen ist. Der Rest

der Schülerinnen und Schüler schrieb angefangen von einem Satz, in dem jedoch nur ein Wort enthalten war, über zwei und fünf Sätze sogar bis zu sechs Sätze.

Im Allgemeinen stellte die Bearbeitung dieser Aufgabe, abgesehen von der teilweisen Missachtung der vorgegebenen Anzahl der Merksätze, wenig Schwierigkeiten dar. Zu erwähnen ist jedoch, dass ein paar Schülerinnen und Schüler die Informationen aus dem Text nicht korrekt wiedergeben konnten. Merksätze mit Falschinformationen waren, dass „Mikrowellenstrahlung unsichtbares Licht sei“, dass „Mikrowellenstrahlung sichtbar sei“, oder, dass „Mikrowellenstrahlung eine kleinere Wellenlänge als sichtbares Licht hat“. Hier stellt sich die Frage, weshalb diese Schülerinnen und Schüler die physikalisch falschen Inhalte für die Formulierung der Merksätzen gewählt haben.
Eine Möglichkeit für die Aussage, dass „Mikrowellenstrahlung unsichtbares Licht sei“, könnte der falsche Rückschluss sein, dass die Begriffe „Strahlung“ und „Licht“ gleichgesetzt wurden. Damit ist gemeint, dass der/die SchülerIn, weil im Einführungstext von sichtbarer Strahlung als sichtbarem Licht die Rede ist, eventuell angenommen hat, dass unsichtbare Strahlung dasselbe wie unsichtbares Licht sei. Diesbezüglich könnte der folgende Ausschnitt aus dem Text Kern des fälschlichen Rückschlusses sein:

> *Die sichtbare Strahlung, auch „sichtbares Licht“ genannt, ist dir sicher bekannt. Andere Strahlungsarten wie Mikrowellen-, Infrarot-, UV- und Röntgenstrahlung sind Teil der unsichtbaren Strahlung.*

Die inkorrekte Aussage, dass „Mikrowellenstrahlung sichtbar sei“, ist höchstwahrscheinlich auf ungenaues Lesen zurückzuführen. Bei genauer Analyse des Einführungstextes (vgl. Abb. 5.3) konnten keine Hinweis entdeckt werden, die auf andere Möglichkeiten hindeuten würden.
Die Aussage, dass „Mikrowellenstrahlung eine kleinere Wellenlänge als sichtbares Licht hat“, könnte mit der fälschlichen Interpretation der Abbildung des elektromagnetischen Spektrums zu tun haben (vgl. Abb. 5.4).

5.4.1.4 Erste Forschungsstation

Generell sei zu sagen, dass es bei der Erwärmung der Schokolade ratsam ist, als Lehrkraft ein Auge auf das Geschehen zu haben. Die Zeit für die Erwärmung der Schokolade im Mikrowellenofen passt mit 45 Sekunden, jedoch soll darauf geachtet werden, dass die Schülerinnen und Schüler die Zeit stoppen. Bei einer Gruppe wurde die Schokolade zu lange im Mikrowellenofen gelassen und es erforderte Hilfe seitens der Lehrkraft, um die „Hot Spots“ zu identifizieren und den Abstand korrekt messen zu können. Doch auch bei korrekter Zeitmessung war die Lage der „Hot Spots“ nicht immer eindeutig, weshalb hier zum Teil zusätzliche Hilfe durch die Lehrperson erforderlich ist.
Es ist hilfreich, die Schokolade schon in genau so große Stücke zu teilen, wie für den Versuch benötigt werden. Ebenfalls ratsam ist es, unter die Schokolade ein Stück Küchenrollen-Papier zu legen. Somit kann der Teller nach Durchführung des Versuchs wiederverwendet

werden und es entsteht weniger Unordnung durch die geschmolzene Schokolade. Anhand der Beobachtungen der Unterrichtsstunden empfiehlt es sich, die geschmolzene Schokolade der Vorgruppen zur Seite zu legen und die Schülerinnen und Schüler darauf hinzuweisen, dass sie die Schokolade erst nach Unterrichtsende essen dürfen.

Analyse der Aufgaben

Rund 80% der Schülerinnen und Schüler gaben für die Abstandsmessung Werte im Bereich von 5 bis 8 cm an und verdoppelten den gemessenen Wert für die Ermittlung der Wellenlänge λ. Eine Gruppe hat mehrere Abstände zwischen den „Hot Spots“ gemessen und sich notiert, dass die Werte zwischen 5 und 7cm liegen. Die Herangehensweise, mehrere Abstände zu messen, wurde nur bei dieser Gruppe beobachtet. 15% der Schülerinnen und Schüler haben bei der Ermittlung der Wellenlänge aus dem Experiment als Lösung die Hälfte des gemessenen Werts angegeben. Es ist anzunehmen, dass die Schülerinnen und Schüler dieser Gruppen die Zusatz-Info nicht gelesen haben bzw. den dritten Tipp der Lernhilfe falsch verstanden haben. Dieser Hinweis gibt an, dass der gemessene Wert die Hälfte der Wellenlänge λ ist. Es liegt nahe, dass die Forschungsgruppen dies missverstanden haben und angenommen haben, dass die Hälfte des gemessenen Werts die Wellenlänge λ sei. Durch die beiden Kästchen, in die die Werte für den gemessenen Wert und lambda eingetragen werden sollen, vergaßen keine Schülerinnen und Schüler auf das Notieren der Werte. Rund 60% der Schülerinnen und Schüler nutzten die vorgegeben Zeilen, um sich ihre Überlegungen zu notieren und etwas mehr als 30% schrieben nichts auf. Durch das Think-Aloud war nicht klar wie sehr diese Möglichkeit genutzt wird, doch dieses Ergebnis lässt darauf schließen, dass das Beibehalten dieser Zeilen Sinn macht.

5.4.1.5 Zweite Forschungsstation

Bei der Forschungsstation 2 trat bei einer Klasse die Schwierigkeit auf, dass sich die Schüler nicht entscheiden konnten, wer wessen Handy anruft. Dies führte zu Verzögerungen und womöglich wurde zum Teil auch deshalb nicht von jeder Gruppe die Aufgabe zur Erklärung der Beobachtungen und zu dessen Zusammenhang mit den Materialien bearbeitet. Bei den anderen beiden Klassen fiel ebenfalls auf, dass diese Station von den Gruppen nicht zur Gänze durchgeführt wurde.

Analyse der Aufgaben

Durch die Auswertung der Arbeitsmappen ist zu erkennen, dass fast 75% der Schülerinnen und Schüler alle Materialien korrekt getestet und dazu die richtigen Beobachtungen notiert haben. Bei zwei Gruppen wurden die Versuche nicht korrekt durchgeführt. Bei der einen Gruppe wurde der Anruf durch die Silbergitter-Folie und bei der anderen Gruppe der durch das Edelstahlgewebe nicht abgeschirmt. Anhand der notierten Beobachtungen ist zu erkennen, dass diese Anrufe funktionierten. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass die Schülerinnen und Schüler die *Smartphones* womöglich nicht vollständig von allen Seiten

mit Material umgeben haben.
Rund 65% der Schülerinnen und Schüler haben ihre Beobachtungen begründet. Es könnte sein, dass manche Forschungsgruppen diese beiden Übungen übersehen haben, da sie sich auf der zweiten Seite befunden haben. Der Großteil der Schülerinnen und Schüler, die eine Erklärung für ihre Beobachtungen abgaben, erwähnte dabei, dass „Metalle keine Strahlung durchlassen“. Eine Gruppe hat als Erklärung für ihre Beobachtungen das physikalische Phänomen des Faraday'schen Käfigs angegeben, jedoch dessen Funktionsweise nicht weiter ausgeführt.
Bei der Frage über den Zusammenhang zwischen den Beobachtungen und den Materialien wurde von einigen Schülerinnen und Schüler angeführt, dass „man bei einigen Materialien Empfang hat“ und „andere Materialien den Empfang isolieren“, dass „Metalle die Strahlung reflektieren“ und „andere Materialien die Strahlung nicht reflektieren“.
Interessant zu beobachten war, dass eine Gruppe (9% der Schülerinnen und Schüler) bei der Frage zu den Materialien angegeben hat, dass Metalle Mikrowellenstrahlung absorbieren, „Metalle absorbieren elektromagnetische Strahlung“, „Metalle absorbieren die Strahlung“. Jedoch haben diese Schüler bei der Frage zur Erklärung der Beobachtung angegeben, dass „das Signal reflektiert wird“, oder „metallische Gegenstände keine Strahlung durchlassen“. Bei der Erklärung des Versuchs von Forschungsstation 3 gaben die Schüler dieser Forschungsgruppe auch alle an, dass durch die Alufolie die Mikrowellenstrahlung reflektiert werde: „Alu reflektiert Strahlen und Wärme“, „Alufolie reflektiert die Strahlung“. Es ist unklar, woher die Schüler zu der Annahme gelangten, dass Metalle Mikrowellenstrahlung absorbieren, denn in den gestuften Lernhilfen ist von Absorption keine Rede. Die Arbeitsblätter wurden in dieser Klasse im Querformat ausgedruckt, sodass zwei Seiten auf einer zu sehen waren. Auf der benachbarten Seite befand sich die Forschungsstation 3 mit zugehöriger Zusatz-Info. Unter anderem steht dort: „Andere Stoffe absorbieren Mikrowellenstrahlung. Dabei wird Strahlungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt“. In diesem Fall bleibt die Frage, ob diese Forschungsgruppe durch Lesen dieses Teils der Zusatz-Info oder durch Raten auf den Rückschluss gekommen ist, dass Metalle dieser Stoffgruppe angehören könnten und Strahlung absorbieren würden, offen und ist für das Verständnis der Aufgabe nicht entscheidend.

5.4.1.6 Dritte Forschungsstation

Generell lässt sich sagen, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Bearbeitung der dritten Forschungsstation inhaltlich wenige Schwierigkeiten hatten. Bei einer Klasse wurden die Aufgaben auf Grund zeitlicher Probleme nicht zur Gänze gelöst.

Die Alufolie wurde von einigen Schülerinnen und Schüler nicht von vornherein vollständig und gleichmäßig um das Glas gewickelt. Es wurde von den Lehrpersonen darauf hingewiesen, die Angabe genau zu lesen und darauf zu achten, dass bei der Alufolie keine Kanten entstehen. Danach wurde der Versuch von den Forschungsgruppen korrekt durchgeführt.

Die Schülerinnen und Schüler verwendeten *Smartphones* um die Zeit zu stoppen, dies funktionierte recht gut.

Es ist aufgefallen, dass die Schülerinnen und Schüler häufig vergaßen, das Wasser in den Gläsern für die nächste Gruppe auszuleeren. Die Schülerinnen und Schüler wurden von den Lehrpersonen hingewiesen, das Wasser auszuleeren und die Stationen so zu verlassen, wie sie sie vorgefunden hatten. Die folgenden Forschungsgruppen führten den Versuch mit frischem Wasser derselben Temperatur durch, was anhand der Ergebnisse der Arbeitsmappen bestätigt wird.

Analyse der Aufgaben

Durch die Hospitationen wurde beobachtet, dass der Versuch von allen Klassen korrekt durchgeführt worden war. Die Temperaturwerte und der Temperaturunterschied des Wassers sind anhand der Aufzeichnungen bei rund 80% der Schülerinnen und Schüler deutlich zu erkennen und richtig notiert. Manche Gruppen arbeiteten gemeinsam an einem Blatt, weshalb nicht auf allen Arbeitsblättern die Werte notiert wurden und somit gewisse Werte fehlen. Dies konnte speziell bei einer Klasse beobachtet werden, bei der die Werte für die Endtemperaturen des Wassers zum Teil nicht angegeben wurden.

Bezüglich der Temperaturwerte ist aufgefallen, dass die Schüler einer Gruppe die Temperaturwerte des Thermometers falsch abgelesen hatten. Die Schüler notierten in den Tabellen für die Temperatur 2,1°C und 7,5°C statt 21°C und 71°C.

Bei der Analyse der Arbeitsblätter konnte ebenso festgestellt werden, dass rund 30% der Schülerinnen und Schüler keine Begründung für den Ausgang des Experiments notiert haben. Eine Forschungsgruppe schrieb explizit auf den Zettel, dass sie dafür keine Zeit hatten. Über 60% der Schülerinnen und Schüler begründeten den Ausgang des Versuchs korrekt mit der durch die Alufolie entstehenden Reflexion von Strahlung: „Da die Alu-Folie isoliert, bleibt das Wasser gleich warm“, „Alufolie reflektiert die Strahlung“, „Die Alufolie schirmt das Glas ab“ „Alufolie schirmt die Wellen ab und deshalb ist das Wasser kühler“.

5.4.1.7 Zusatzaufgabe

Die Zusatzaufgabe wurde von sehr wenigen Schülerinnen und Schülern bearbeitet. Es ist jedoch trotzdem anzuraten sie beizubehalten, da in sehr konzentriert und schnell arbeitenden Klassen die übrigen Minuten zur Bearbeitung dieser Übung verwendet werden können. Es ist grundsätzlich förderlich einen zeitlichen Puffer eingeplant zu haben. In einer Klasse wurde die Zusatzaufgabe als Hausaufgabe aufgegeben, was trotz Zeitmangels eine Möglichkeit der Bearbeitung der Aufgabe bietet.

5.4.2 Erkenntnisse – Zweite Unterrichtsstunde

Das überarbeitete Material für die Diskussionsrunde wurde erneut getestet, diesmal in der letzten der drei 4. Klassen. In dieser Klasse wurde die erste Unterrichtsstunde der Einheit „Mikrowellenstrahlung“, wie in Kap. 5 angeführt ist, zwei Wochen zuvor durchgeführt, weshalb eine größere Pause zwischen den Durchführungen der beiden Stunden lag. Leider war dies anders nicht möglich. Es sei in diesem Zusammenhang jedoch unabdingbar zu erwähnen, dass es sich grundsätzlich um eine zusammenhängende Unterrichtseinheit handelt und die beiden Stunden idealerweise direkt hintereinander unterrichtet werden.
Da der Physiklehrer der Klasse auf Grund einer Supplierstunde verhindert war, ergab sich die Gelegenheit, dass diese Stunde von mir selbst unterrichtet wurde. Eine Kollegin hospitierte diese Stunde, wurde zuvor instruiert, auf was geachtet werden sollte und gab anschließend Feedback.

5.4.2.1 Einteilung der Rollen

Die Verteilung der Rollen verlief relativ problemlos. Seitens der Schülerinnen und Schüler gab es keine freiwilligen Meldungen für bestimmte Rollen, weshalb die Rollen zufällig unter den Schülerinnen und Schülern vergeben wurden. Auf Grund der Größe der Klasse gab es zehn Studienvertreterinnen und -vertreter (zwei pro Studie), acht Expertinnen und Experten (ein Experten-Team) und vier Komitee-Mitglieder. Insgesamt waren in dieser Klasse 22 Schülerinnen und Schüler anwesend, und es konnten alle Informations-Kärtchen eingesetzt werden.

5.4.2.2 Verständnisschwierigkeiten bei der Bearbeitungsphase

Während der Bearbeitung der Arbeitsaufträge kam von zwei Expertinnen und Experten unabhängig voneinander die Frage, weshalb und wofür sie Argumente aufschreiben sollten. Diese Fragen zeigten, dass es, trotz der Erklärungen zu Beginn der Stunde, Unklarheiten bezüglich des Arbeitsauftrags der Expertinnen und Experten gab.

Eine SchülerIn des Komitees war sich unsicher, was für Ideen sie zu den Gefahren von Mobilfunkstrahlung aufschreiben sollte, denn „es gäbe ja keine“. Sie wurde darauf hingewiesen, dass das eine mögliche Idee wäre, die notiert werden könnte. Die anderen Komitee-Mitglieder hatten bei der Beantwortung der Frage keine Schwierigkeiten. Ansonsten war den Schülerinnen und Schülern des Komitees auch klar, was sie tun sollten. Es ist aufgefallen, dass speziell diese Gruppe an Komitee-Mitgliedern bei der Aufgabe zur gemeinsamen Formulierung der drei Fragen für die Diskussionsrunde Schwierigkeiten hatte. Es kam auch die Frage auf, „ob sich nur einer die Fragen notieren soll oder alle?“.

Bei den Vertreterinnen und Vertretern der Studien warfen, ebenso wie bei den anderen Klassen, die Bezeichnungen der Studien („Fall-Kontroll Studie“, „Kohortenstudie“ und „Längsschnittstudie“) Verständnisschwierigkeiten auf. Von einer Studienvertreter-Gruppe wurde ein Fehler bei der Studie UK entdeckt. Der Zeitraum der Studie wurde in den Unterlagen für die Schülerinnen und Schüler falsch notiert, die Jahreszahlen stimmten dabei nicht mit der Dauer überein.
Auch in dieser Klasse wurde konzentriert gearbeitet und beobachtet, dass die vorgesehene Zeit von 10 Minuten ausreichend war.

5.4.2.3 Diskussionsrunde

Die Schülerinnen und Schüler platzierten sich kreisförmig, sodass jede/r jede/n sehen konnte und die Moderation begann mit der Einleitung zur Diskussionsrunde. Anschließend wurden die Studienvertreterinnen und -vertreter der Reihe nach gebeten, ihre Ausarbeitungen zu präsentieren. Dank der überarbeiteten Moderations-Kärtchen war es dieses Mal leichter, die Expertinnen und Experten in die Diskussion einzubinden. Die Fragen an die Expertinnen und Experten konnten gezielt in den passenden Momenten gestellt werden und es wurde dadurch ebenfalls sichergestellt, dass alle Schülerinnen und Schüler zu Wort kamen. Insgesamt dauerte die Diskussion rund 17 Minuten.

Während der Diskussion ist aufgefallen, dass der Experte zum Mobilfunknetz dachte, dass sich die Funkzellen im Inneren des Handys befinden. Bei der Erklärung der Funktionsweise des Mobilfunknetzes erwähnte er, dass sich die Funkzellen im Inneren des jeweiligen Handys befinden und von dort aus das Signal an die Mobilfunkantenne gesendet wird. Ebenso konnte beobachtet werden, dass die Studienvertreterinnen der Studie USA den Begriff „Fälle“ (als Synonym für Krankheitsfälle) nicht sinngemäß verstanden haben.
Die Komitee-Mitglieder wurden während der Diskussion häufiger darauf aufmerksam gemacht, sich Infos zu notieren, da es in den beiden Klassen zuvor aufgefallen ist, dass wenig Infos diesbezüglich gesammelt wurden. Das Komitee überlegte sich in dieser Klasse nur zwei Fragen für die Diskussion, nämlich bezüglich der Vor- und Nachteile der Mobilfunkstrahlung. Dadurch entfiel der Teil der Diskussion, bei dem offene Fragen an alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer gestellt werden sollten.

Es ist aufgefallen, dass sich die Schülerinnen und Schüler, als sie bei der Diskussion zu Wort gekommen sind, um eine „frei gesprochene“ Einbringung ihrer Ausarbeitungen bemüht haben. Es wurde jedoch ebenso festgestellt, dass die Schülerinnen und Schüler ohne direkte Instruktion nicht das Wort ergriffen haben. Womöglich ist dies auf die Schulstufe der Klasse zurückzuführen. Diesbezüglich ist eine starke Anleitung seitens der Moderation gefordert, die durch die erfolgte Überarbeitung der Moderations-Kärtchen im Unterricht leichter umgesetzt werden kann.

5.4.2.4 Analyse der Aufzeichnungen

Anhand der Blätter mit den Ausarbeitungen der Schülerinnen und Schüler konnten einige Auswertungen getroffen werden.

In dieser Klasse schrieben 25% der Expertinnen und Experten die Informationen der Experten-Kärtchen ab und 60% änderten die Formulierungen und formten gewisse Aussagen mit eigenen Worten um. 15% der Expertinnen und Experten schrieben die Infos teilweise ab, versuchten jedoch auch neu zu formulieren.
Von den Vertreterinnen und Vertretern der Studien fassten rund 60% die jeweiligen Studien durch Formulierung eigener Sätze zusammen. Die restlichen Schülerinnen und Schüler übernahmen die Sätze zum größten Teil in der gleichen Form wie in den Info-Kärtchen beschrieben.

Die Aufzeichnungen der Komitee-Mitglieder waren in dieser Klasse vielfältig und es waren, im Vergleich zu den anderen beiden Klassen, reichlich davon vorhanden. Dies deutet darauf hin, dass die mehrmalige Anweisung während der Diskussion, sich die Infos zu notieren, Früchte getragen hat.
Es wurden 85% der Expertinnen- und Experten-Infos, also alle bis auf eine, und Infos zu allen Studien notiert und in die jeweiligen Spalten eingetragen. Zwei der vier Komitee-Mitglieder haben sich neben den Pro- und Kontra-Einträgen notiert, ob es sich bei der jeweiligen Aussage um Expertinnen- und Experten-Information oder um eine Studie gehandelt hat, und es wurde ebenfalls der Name der jeweiligen Studie notiert.

5.4.2.5 Zeitlicher Rahmen

Die Unterrichtsstunde verlief nach Plan und am Ende blieb noch Zeit um die Schülerinnen und Schüler nach Feedback zur gesamten Unterrichtseinheit und speziell zu den Materialien dieser Stunde zu fragen.
Da in den beiden anderen Klassen beobachtet wurde, dass seitens der Komitee-Mitglieder mehr Fragen zur Mobilfunkstrahlung aufgetaucht sind, ist für die zukünftige Durchführung in Klassen damit zu rechnen, dass hier mehr Minuten eingeplant werden sollten. Dadurch, dass mehr als 5 Minuten am Ende der Unterrichtsstunde für Feedback-Gespräche übrig waren, kann gesagt sein, dass sich die Diskussionsrunde zeitlich auf jeden Fall in einer Schulstunde ausgehen wird.

5.4.3 Feedback

Zusätzlich zu den Erkenntnissen, die durch die Testung der Unterrichtsstunden gewonnen wurden, wurde Feedback von den Lehrpersonen eingeholt. Dies erfolgte in Form eines Gesprächs, bei dem die Lehrpersonen zur Durchführung und dem Ablauf, den Aufgaben und den Schwierigkeiten bei deren Bearbeitung befragt wurden. Die beiden Junglehrerinnen

und Junglehrer wurden in ihrer Rolle als Lehrpersonen befragt, um ihre Sichtweisen durch den direkten Bezug zu den jeweiligen Klassen und durch ihre Erfahrung als Lehrpersonen erfassen zu können. Zusätzlich wurden die Schülerinnen und Schüler einer Klasse nach der Durchführung der zweiten Stunde der Einheit zur gesamten Unterrichtseinheit befragt.

5.4.3.1 Erste Unterrichtsstunde

Das Feedback der Lehrpersonen zu der Testung des Materials für die erste Schulstunde der Unterrichtseinheit wurde mündlich eingeholt. Die drei vierten Klassen, in denen die Testung stattgefunden hat, werden von zwei Lehrpersonen (L1) und (L2) unterrichtet, L1 unterrichtet dabei zwei der drei Klassen. Im Folgenden werden die Aussagen der Lehrpersonen durch die Bezeichnungen L1 und L2 auseinandergehalten.

Die Lehrpersonen gaben an, dass es ihnen bei der Durchführung der ersten Unterrichtsstunde gut ergangen ist und L1 betonte, dass ihr das Material gut gefallen hat. Es wurde von beiden beobachtet, dass die Schülerinnen und Schüler sichtlich Spaß am Unterricht hatten.

Feedback zu den Aufgaben
L2 gab an, dass der Basistext in seiner Klasse weggelassen hätte werden können, da die Stunde davor genutzt wurde, um elektromagnetische Strahlung einzuführen. In diesem Zusammenhang hätte der Rechenteil in den Fokus gerückt werden können. L2 merkte ebenso an, dass die Frequenz im Einführungstext erwähnt werden sollte, da Wellenlänge und Frequenz in der Optik zugleich eingeführt werden.
L2 erwähnte, dass es sich nach der Übung zur Bildung von Merksätzen anbieten würde, stichprobenartige Fragen an ein paar Schülerinnen und Schüler der Klasse zu stellen. Dadurch kann ermittelt werden, wie sich die Klasse orientiert, also ob die Aufgabe erledigt wurde und ob sie richtig umgesetzt wurde.

Einige Verbesserungsvorschläge bezüglich der Forschungsstationen waren, die Schokolade im Ganzen in den Mikrowellenofen zu legen, das Material um die Anweisung „das Wasser weg zu leeren“ zu erweitern und bezüglich der Lage der Schokolade auf dem Teller statt „in den hinteren Bereich“ anzugeben, dass sie „ausfüllend“ auf den Teller gelegt werden sollte.

L1 hat bezüglich der zweiten Forschungsstation die Idee geäußert, dass man das Arbeitsblatt mit der Info, dass die Schülerinnen und Schüler ihre Handys auf „laut“ schalten sollen, ergänzen könnte. Der Lehrkraft ist aufgefallen, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Durchführung der Experimente zu Beginn darauf vergessen hatten und man das Läuten der Handys nicht hörte. In einer Klasse fiel es den Schülern schwer sich zu entscheiden, wer welches Handy anrufen soll. L1 meinte daraufhin an, dass das auf die Gruppendynamik der Klasse zurückzuführen sei.

L2 meinte diesbezüglich, dass mehrere Handys nebeneinander mit den Materialien umgeben werden könnten und dann von den restlichen Handys der Gruppe gleichzeitig angerufen werden könnten. So könnten gleichzeitig mehrere Materialien getestet werden und man würde Zeit gewinnen, die bei speziell dieser Station für die Bearbeitung der Fragen zur Erklärung der Beobachtungen gefehlt hat.
L1 meinte, dass man die Erklärungen auf der zweiten Seite belassen sollte. Einerseits sei das Lesen von Anweisungen für die Schülerinnen und Schüler nichts neues, andererseits würde somit das genaue Durchlesen aller Arbeitsaufträge gefördert werden. Die Lehrpersonen sollten generell darauf achten, dass alle Übungen pro Forschungsstation bearbeitet werden.

Ebenso wurde die Wichtigkeit der Formulierung von physikalischen Erklärungen betont. Gerade wenn es um Fachwissen geht, sei es laut L1 sehr wichtig, dass sich die Schülerinnen und Schüler Erklärungen selbstständig überlegen und in ganzen Sätzen notieren. Oft laufen Schülerinnen und Schüler Gefahr, nur ein einziges Wort zur Erklärung aufzuschreiben, wie bei einer Gruppe beobachtet werden konnte.
Als weiterer Tipp wurde von L2 erwähnt, zusätzlich die Schülerinnen und Schüler die Plakette des Mikrowellenofens lesen zu lassen und Werte, wie die Frequenz, notieren zu lassen. Laut L2 könnte anhand der Frequenz des Mikrowellenofens und der ermittelten Wellenlänge die Rechenübung entsprechend verändert werden, sodass die Schülerinnen und Schüler die Lichtgeschwindigkeit c berechnen sollen.

Feedback zum Ablauf
L2 hat sich bezüglich der zeitlichen Umsetzung an die Anweisungen aus den Kurzanleitungen gehalten und bemerkt, dass die Zeit für die Versuche richtig eingeschätzt worden war. Die 10 Minuten pro Station waren gute Richtwerte, die durch die Bearbeitungen in den Klassen bestätigt worden waren. L2 merkte ebenso an, dass Schülerinnen und Schüler in dieser Zeit die Stationen locker bearbeiten könnten und es von ihrem eigenen Zeitmanagement abhängt, ob dies der Fall ist. Es wurde in diesem Zusammenhang erwähnt, dass nicht mehr Zeit pro Station nötig sei, sondern eher daran gearbeitet werden müsse, den Schülerinnen und Schülern die sinnvolle Nutzung der vorgegeben Zeit näher zu bringen.

Von L1 wurde angemerkt, dass es generell schwierig sei, nach einem Plan zu arbeiten, der nicht von einem selbst erstellt wurde. In diesem Zusammenhang wurde ebenso erwähnt, dass durch die fixe Übernahme von Unterrichtsmaterial weniger auf die individuellen Bedürfnisse der Klasse eingegangen werden kann. Das bedeutet, dass die Klasse nicht da abgeholt werden kann wo sie steht, oder anders formuliert, dass man weniger gut auf die Stärken und Schwächen einer Klasse oder einzelner Schülerinnen und Schüler Rücksicht nehmen kann. Dies wurde im Zusammenhang mit einer Klasse erwähnt, die fachlich etwas schwächer und disziplinär schwieriger war. L1 fiel diesbezüglich auch auf, dass einige Schüler dieser Klasse die Tippkarten ohne vorheriges Probieren anschauten, ganz nach dem

Motto „da schauen wir gleich nach, dann sind wir schneller fertig“.

Von L2 wurde als Nachteil des Stationenbetriebs der zeitliche Aufwand des Vorbereitens erwähnt. Dies wäre weniger problematisch, wenn der genutzte Raum frei wäre um die Stationen zuvor vorzubereiten oder in der Pause Zeit dafür bleibt. L2 führte jedoch an, dass bei Beibehaltung des Einführungstextes die Zeit während der Bearbeitung der Aufgabe zur Bildung von Merksätzen für das Vorbereiten der Stationen genutzt werden kann.

Die Frage nach der Nachhaltigkeit des Materials steht im Raum, zum einen da die Lehrpersonen die Ergebnisse der ausgefüllten Arbeitsblätter nicht kontrolliert haben und zum anderen, da die Lernwirksamkeit des Materials nicht erprobt wurde.

5.4.3.2 Zweite Unterrichtsstunde

Diese Stunde wurde von mir selbst gehalten, weshalb kein Feedback von der zu unterrichtenden Lehrperson eingeholt werden konnte. Es hat sich jedoch ergeben, dass eine andere Lehrkraft diese Stunde hospitierte und bereit war, Feedback zu geben. Zusätzlich konnte von den Schülerinnen und Schülern der Klasse Feedback eingeholt werden.

Feedback der externen Lehrperson
Der Lehrperson wurde vor Beginn erklärt worum es in der Stunde gehen wird, wie der genaue Ablauf aussieht und welchen Zweck diese Unterrichtsstunde hat. Die Lehrkraft wurde gebeten, auf gewisse Aspekte zu achten und anschließend diesbezüglich Feedback zu geben. Dabei wurde betont, dass das Lernmaterial in dieser Klasse getestet wird, um Erkenntnisse über die erfolgreiche Umsetzung oder mögliche Verbesserungen zu gewinnen, die im späteren Zuge der Überarbeitung des Materials dienen sollen.

Beim Feedback-Gespräch erwähnte die Lehrperson, dass sie in Bezug auf das Unterrichtsmaterial wenige bis keine Verständnisschwierigkeiten ausmachen konnte. Die generelle Aufbereitung der Unterlagen sei gut, das Material sei verständlich ausgearbeitet worden und es würde ihr gefallen. Ihrer Meinung nach wäre die Sicherung des Unterrichtsertrages ein Problem. Es sei zu erwarten, dass die Expertinnen und Experten und Studienvertreterinnen und -vertreter nur einen Überblick über die von ihnen bearbeiteten Infos hätten und ihnen somit der Gesamtüberblick über die Einheit fehlen würde. Laut der Lehrkraft „ist es grundsätzlich so, dass sich Schülerinnen und Schüler am ehesten das merken, was sie selbst ausgearbeitet haben“.

Feedback der Schülerinnen und Schüler
Die Schülerinnen und Schüler gaben auf die Fragen, wie sie die letzte und diese Stunde gefunden hatten durchwegs zu erkennen, dass ihnen der Unterricht gefallen hat. Aussagen wie „Es war voll cool“, „Echt lustig gewesen“, „Es hat Spaß gemacht“ und „Es war einmal

etwas ganz anderes als sonst im Physikunterricht“ spiegeln die allgemeine Stimmung der Klasse wieder. Es konnte auch während der beiden Stunden beobachtet werden, dass sich die Schülerinnen und Schüler disziplinär entsprechend ihres Feedbacks benommen hatten, also konzentriert gearbeitet und Interesse am Unterricht gezeigt haben.

5.4.4 Änderungen – Erste Unterrichtsstunde

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus der Testung des Materials der ersten Unterrichtsstunde in den drei vierten Klassen konnten entscheidende Maßnahmen zur Überarbeitung und Verbesserungen der einzelnen Aufgaben der Arbeitsmappe getroffen und die vorläufige Endversion des Materials geschaffen werden.

5.4.4.1 Text zu elektromagnetischer Strahlung

Bei dem Feedback-Gespräch mit einer Lehrperson kam die Idee auf, die Frequenz im Einführungstext zur elektromagnetischen Strahlung anzuführen. Die Frequenz müsste hier, wie es bei der Wellenlänge der Fall ist, als neuer Fachbegriff eingeführt werden, was bedeuten würde, dass sich die Schülerinnen und Schüler auf Grund zusätzlicher Information weniger gut zurecht finden würden, was wiederum dem Unterrichtskonzept widerspricht. Auf Grund der Tatsache, dass sich die Strahlungsarten durch nur eine Variable voneinander unterscheiden, soll die Unterscheidung der verschiedenen Arten elektromagnetischer Strahlung für die Schülerinnen und Schüler erleichtert werden. Es wäre somit nicht sinnvoll, die Frequenz im Einführungstext zusätzlich zur Wellenlänge zu erwähnen. Durch die Unterrichtseinheit soll den Schülerinnen und Schülern ein durchführbares und funktionierendes Unterrichtskonzept angeboten werden, und sie sollen nicht schon bei der ersten Aufgabe überfordert werden.

Der Abschnitt zu den Anwendungen von Mikrowellenstrahlung wurde leicht überarbeitet und bei „Kommunikation mit Handys“ das Wort „Mobilfunkstrahlung“ in Klammer hinzugefügt (vgl. Abb. 5.49).

Heute wirst du einiges über **Mikrowellenstrahlung** erfahren. Die Wellenlängen von Mikrowellen liegen im Bereich von 1m bis 1mm. Mikrowellenstrahlung wird z.B. zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen und zur Kommunikation mit Handy (Mobilfunkstrahlung) oder WLAN eingesetzt.

Abbildung 5.49: Der überarbeitete Abschnitt des Einführungstextes

5.4.4.2 Merksätze bilden

Um diese Aufgabe entsprechend der Erkenntnisse aus den Hospitationen zu verbessern, ist die Anzahl der Merksätze numerisch dargestellt und unterstrichen worden (vgl. Abb. 5.50). Da rund die Hälfte der Schülerinnen und Schüler dieser Anweisung keine Bedeutung schenkte, wäre somit noch deutlicher, dass drei Merksätze zu formulieren sind.

Partnerarbeit:

Schreibe mit deiner Partnerin/deinem Partner 3 Merksätze zum Text auf.

Folgende Wörter sollen dabei enthalten sein: ***Strahlung, elektromagnetisches Spektrum, Wellenlänge*** *und* ***Mikrowellenstrahlung****.*

Abbildung 5.50: Die überarbeitete Angabe zur Formulierung von Merksätzen

5.4.4.3 Erste Forschungsstation

In der Anleitung zum Versuch wurden einige Änderungen vorgenommen. Die Schülerinnen und Schüler sollen das ganze Stück Schokolade auf ein Blatt Küchenrollen-Papier legen (vgl. Abb. 5.51), um einerseits bessere Chancen auf gut sichtbare „Hot Spots“ zu haben und um andererseits weniger Unordnung auf Grund der geschmolzenen Schokolade zu bereiten. Die Lage des Tellers im Mikrowellenofen wurde mit der Bezeichnung „im hinteren Bereich des Mikrowellenofens“ gestrichen (vgl. Abb. 5.51), da dies zu Verwirrung führte und nicht so wichtig ist.

Material:	Mikrowellenofen, Schokolade, Teller, Küchenrolle, Stoppuhr, Lineal
Anleitung:	Packe die Schokolade aus der Folie aus und lege das ganze Stück auf ein Blatt Küchenrollen-Papier in die Mitte des Tellers. Achte darauf, dass du die Schoko mit der glatten Seite nach oben platzierst. Stelle den Teller in den Mikrowellenofen und schalte diesen bei 600 W für 45 Sekunden ein. Miss die Zeit mit einer Stoppuhr! Nimm den Teller aus dem Mikrowellenofen – Achtung heiß! – und miss mit dem Lineal den Abstand zwischen den geschmolzenen Bereichen („Hot Spots“) auf der Schokolade. Notiere dir den Wert.

Abbildung 5.51: Die überarbeitete Anleitung zum Versuch der ersten Forschungsstation

Der dritte Tipp in den gestuften Lernhilfen zu dieser Station wurde insofern angepasst, dass für die Schülerinnen und Schüler ersichtlich ist, in welchem Bereich der Wert für die Wellenlänge liegen sollte:

> ***Tipp Nr. 3:*** *Du hast den Abstand zwischen den geschmolzenen Stellen auf der Schokolade gemessen und dieser Wert ist die Hälfte der Wellenlänge λ. Somit sollte dein Wert für λ zwischen 12 und 14 cm liegen.*

5.4.4.4 Zweite Forschungsstation

Durch die Beobachtungen während der Durchführung der Stunde, die Auswertung der Arbeitsmappen der Schülerinnen und Schüler und die Feedback-Gespräche mit den Lehrpersonen wurde die Anleitung zum Versuch überarbeitet.

Die Reihenfolge der Materialien wurde verändert, die Kartonschachtel und das Edelstahlgewebe wurden vertauscht (vgl. Abb. 5.52). Diese Vertauschung wurde deshalb erwirkt, da es bei Zeitknappheit tendenziell wichtiger erscheint, die abschirmenden Materialien zu testen, als die transmittierenden. In der Versuchsanleitung wurde ergänzt, dass die Handys auf „laut“ gestellt werden sollen, um das Klingeln während der Testung der verschiedenen Materialien nicht zu überhören (vgl. Abb. 5.52).

Da bei zwei Forschungsgruppen die Versuche mit der Silbergitter-Folie beziehungsweise dem Edelstahlgewebe fehlschlugen, wurde in der Anleitung neben der Info, das Handy von allen Seiten mit Material zu umgeben, ein Rufzeichen eingefügt (vgl. Abb. 5.52).

Es wurde ebenfalls angeführt, dass die Schülerinnen und Schüler die verschiedenen Materialien parallel mit mehreren Handys testen sollen. Die Schülerinnen und Schüler sollen sich dafür in Teams aufteilen und mit mehreren Handys jeweils zwei Materialien gleichzeitig testen (vgl. Abb. 5.52).
So können parallel mehrere Materialien auf einmal getestet werden und die Frage wer wen anruft wäre weitestgehend gelöst, da sich die Schülerinnen und Schüler in den Teams untereinander anrufen. Die Materialienliste wurde entsprechend angepasst, sodass sich neben einem Material, das Mobilfunkstrahlung transmittiert, ein anderes Material befindet, welches Mobilfunkstrahlung reflektiert. Somit würde pro „Doppel-Testung“ auch nur ein Mobiltelefon läuten, wodurch mit wenig Verwirrung bezüglich des läutenden Handys gerechnet werden kann. Was dadurch ebenfalls gefördert wird ist die Mitarbeit aller Schülerinnen und Schüler innerhalb der Forschungsgruppen.

Als letzter Satz wurde in der Anleitung darauf hingewiesen, dass die Schülerinnen und Schüler auf die zweite Seite blättern müssen, um Erklärungen zu ihren Beobachtungen zu formulieren (vgl. Abb. 5.52), da in einigen Gruppen die Aufgaben der zweiten Seite nicht bearbeitet wurden.

Entsprechend der überarbeiteten Versuchsanleitung (vgl. Abb. 5.52) wurde der erste Tipp der gestuften Lernhilfe angepasst:

> ***Tipp Nr. 1:*** *Formt Teams! Jedes Team benötigt jeweils 2 Handys. Team Nr. 1 legt ein Handy in die Kunststoff-Box und verschließt die Box. Team Nr. 2 umgibt ein Handy vollständig von allen Seiten mit dem Edelstahlgewebe. Anschließend rufen die Teams die jeweiligen Handys gleichzeitig an und die Beobachtungen werden notiert. Macht dann dasselbe mit der Alufolie und den Keramik-Töpfen (einer wird kopfüber auf den anderen gestellt) und dem Silbergitter-Stoff und der Kartonschachtel.*

Material:	Mehrere Handys bzw. Smartphones, Box aus Kunststoff, Edelstahlgewebe, Alufolie, zwei Keramik-Töpfe, Silbergitter-Stoff, Kartonschachtel
Anleitung:	Teste alle Materialien auf ihre Eigenschaften bei Interaktion mit Mobilfunkstrahlung. Schalte dein Handy auf laut, um das Klingeln hören zu können! Achte beim Versuch darauf, dass jedes Material einzeln getestet wird und gehe Schritt für Schritt vor. Ein Handy muss dafür vollständig mit dem jeweiligen Material umgeben sein. Achte dabei darauf, dass das Handy von allen Seiten mit Material vollständig bedeckt ist! Anschließend wird es mit einem anderen Handy angerufen. Bildet Teams und testet die Materialien gleichzeitig! Ihr braucht mehrere Handys. Ein Team testet die Box aus Kunststoff, während das andere Team zur gleichen Zeit das Edelstahlgewebe testet. Danach testet ein Team die Alufolie, während das andere Team die Keramik-Töpfe testet. Zuletzt werden der Silbergitter-Stoff und die Kartonschachtel getestet. Notiere deine Beobachtungen zu allen Materialien! Blättere dann auf die zweite Seite und überlege dir eine Erklärung!

Abbildung 5.52: Die überarbeitete Anleitung zum Versuch der zweiten Forschungsstation

5.4.4.5 Dritte Forschungsstation

Auf dem Arbeitsblatt wurde in der Anleitung zum Versuch ergänzt, dass die Forschungsgruppen vor Wechsel der Stationen das Wasser in den Gläsern ausleeren sollten (vgl. Abb. 5.53). Die unterschiedlichen Temperaturen des Wassers in den beiden Gläsern könnten für die folgende Forschungsgruppe die Durchführung des Experiments erschweren. Ebenso sollten die Schülerinnen und Schüler lernen, einen Arbeitsplatz so zu verlassen wie sie ihn vorgefunden haben.
In der Anleitung wurde zudem angeführt, dass die Schülerinnen und Schüler beim Herausnehmen der Gläser vorsichtig sein sollen (vgl. Abb. 5.53).

Material:	Mikrowellenofen, zwei Gläser, Wasser, Alufolie, Thermometer, Stoppuhr
Anleitung:	Fülle beide Gläser halb mit Wasser und miss die Anfangstemperaturen. Notiere dir die Werte. Umhülle ein Glas vollständig mit Alufolie. Achte darauf, dass keine Kanten entstehen und die Oberfläche glatt bleibt. Drücke dafür die Alufolie so dicht wie möglich an das Glas. Stelle beide Gläser für 45 Sekunden bei höchster Stufe in den Mikrowellenofen. Stoppe die Zeit. Nimm beide Gläser aus dem Mikrowellenofen – Achtung heiß! – und miss die Endtemperaturen des Wassers beider Gläser. Notiere dir die Werte! Vergiss vor Wechsel der Station nicht darauf, das Wasser in den Gläsern wieder auszuleeren!

Abbildung 5.53: Die überarbeitete Anleitung zum Versuch der dritten Forschungsstation

5.4.5 Änderungen – Zweite Unterrichtsstunde

Durch die neu gewonnenen Erkenntnisse aus der Testung des Materials der Diskussionsrunde in der letzten der drei vierten Klassen, war es möglich, die Kärtchen erneut zu überarbeiten und somit die vorläufige Endversion des Lernmaterials zu erarbeiten.

5.4.5.1 Studien-Kärtchen

Die Kärtchen mit Infos bezüglich der unterschiedlichen Studien wurden teilweise überarbeitet. Dabei wurde Wert auf bessere Verständlichkeit der Fakten gelegt, wie zum Beispiel bei der Studie USA, bei der der Begriff „Fälle“ durch „Krankheitsfälle“ und „Fälle von TumorpatientInnen“ ersetzt wurde (vgl. Abb. 5.54).

Diese Studie wurde in den USA durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie laufen die Untersuchungen über einen längeren Zeitraum, im Schnitt in etwa 15 Jahre und länger.
  - In die Untersuchung wurden verschiedene Faktoren (z.B. Ergebnisse anderer Studien) miteinbezogen und im Großen und Ganzen wurde die Zahl der Gliom-Fälle in den USA beobachtet und mit Voraussagen verglichen.
- Die Studie lief über einen Zeitraum von 17 Jahren (1992 bis 2008). Während dieser Zeit wurden die Daten von etwa 25.000 US-BürgerInnen gesammelt und ausgewertet.
- Dabei wurden die beobachteten Krankheitsfälle mit den vorausgesagten Fällen an TumorpatientInnen verglichen. Dafür wurden die Daten der Studie aus Schweden und der INTERPHONE Studie herangezogen. Die Ergebnisse dieser beiden Studien wurden mit den tatsächlichen Hirntumor-Fällen in Vergleich gebracht.
- Es wurde somit die aktuelle Zahl an Tumor-Erkrankten in den USA untersucht und mit den vorhergesagten Fällen an PatientInnen (der Studien Schweden und INTERPHONE) verglichen.
- Ergebnis:
  - Die Ergebnisse der schwedischen Studie, die auf ein erhöhtes Risiko hinwiesen, stimmen nicht mit den beobachteten Hirntumor-Patientinnen in den USA überein. Es wurde ein großer Unterschied zwischen den vorhergesagten und dokumentierten Krankheitsfällen beobachtet.
  - Die Ergebnisse der INTERPHONE Studie, die auf kein erhöhtes Risiko hindeuten, stimmen mit den Ergebnissen der USA überein.

Abbildung 5.54: Die überarbeitete Version des Kärtchens zur Studie USA

Bezüglich der Bezeichnungen der Studien wurde beschlossen, dass die fachsprachliche Benennung der Studien nach Fall-Kontroll Studie, Kohortenstudie und Längsschnittstudie nicht notwendig sei. Die Informations-Kärtchen zu den einzelnen Studien wurden dementsprechend angepasst (vgl. Abb. 5.54).
Die falsch notierten Jahreszahlen wurden bei der Info zur Studie UK ausgebessert.
Der Arbeitsauftrag der Studienvertreterinnen und -vertreter wurde überarbeitet (vgl. Abb. 5.55).

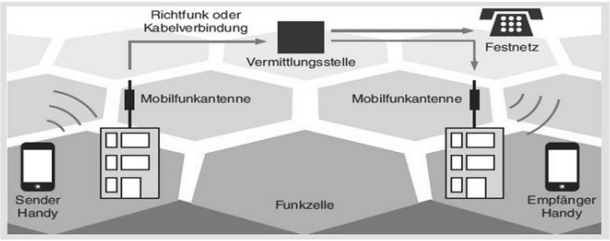
Lies dir die Informationen zur Studie durch und fasse die wichtigsten Aspekte zusammen – Art der Studie, Dauer, sonstige Infos und Ergebnisse. Deine Ausarbeitung brauchst du für die Diskussionsrunde!

Abbildung 5.55: Die überarbeitete Anleitung der Studienvertreterinnen und -vertreter

5.4.5.2 Expertinnen- und Experten-Kärtchen

Das Expertinnen- und Experten-Kärtchen zum Mobilfunknetz wurde so überarbeitet, dass der Ort der Funkzellen verständlicher formuliert ist (vgl. Abb. 5.56).

- Die Funktionsweise unseres Mobilfunknetzes basiert auf vielen (Funk-)Zellen, die über die jeweiligen Basisstationen (Mobilfunkantennen) mit den Vermittlungsstellen verbunden sind.
  - Je nachdem in welcher Funkzelle sich der Anrufer befindet, wird von dem Handy, welches einen Anruf tätigt, zuerst ein Signal an die jeweilige Mobilfunkantenne gesendet. Dieses Signal wird über die Vermittlungsstelle zu der anderen Mobilfunkantenne geleitet, die sich in der Funkzelle desjenigen befindet, der angerufen wird. Diese Basisstation leitet das Signal an das Handy weiter, welches angerufen wird.



- Basisstationen (Mobilfunkantennen)
  - Die Strahlungsbelastung ausgehend von Basisstationen ist sehr niedrig und allgemeine Untersuchungen bestätigen, dass ein erhöhtes Risiko für die Gesundheit unwahrscheinlich ist.

Abbildung 5.56: Die überarbeitete Version des Expertinnen- und Experten-Kärtchens zur Mobilfunkstrahlung

Auf Grund der Unklarheit bezüglich des Arbeitsauftrages der Expertinnen und Experten wurden Veränderungen bezüglich der Anweisung vorgenommen (vgl. Abb. 5.57), die auf eine bessere Verständlichkeit des Auftrags abzielen.

Lies dir die Informationen auf deinem ExpertInnen-Kärtchen durch und schreibe die besten drei Argumente (wichtige Aussagen) auf! Als ExpertIn brauchst du deine Ausarbeitung für die Diskussionsrunde, um die anderen informieren zu können.

Abbildung 5.57: Die überarbeitete Anleitung der Expertinnen und Experten

5.4.5.3 Komitee-Kärtchen

Das Pro-/Kontra-Kärtchen der Komitee-Mitglieder wurde um die Anweisung ergänzt, dass sich das Komitee während der Diskussion die Infos der Studien sowie der Expertinnen und Experten notieren sollen und diese Infos in die beiden Spalten entsprechend eingeteilt werden sollen (vgl. Abb. 5.58).

Komitee-Mitglied

Notiere dir während der Diskussionsrunde die Infos der StudienvertreterInnen und ExpertInnen und Teile sie in die Spalten für und gegen Mobilfunkstrahlung ein!

Abbildung 5.58: Die überarbeitete Anleitung der Komitee-Mitglieder

5.4.5.4 Ergänzende Änderungen

Bei den Kärtchen gab es Unterschiede bezüglich der Geschlechter-Bezeichnungen der Rollen. Die Kärtchen der Vertreterinnen und Vertreter der Studien wurden im Interesse der Gleichstellung der Geschlechter „Studienvertreterinnen und -vertreter“ benannt, wohingegen die Kärtchen der Expertinnen und Experten als „Experten-Information“ bezeichnet wurden. Entsprechend der Berücksichtigung des Geschlechter-Aspekts wurden im gesamten Unterrichtsmaterial Maßnahmen vorgenommen, um durchgehend „gendergerechte“ Formulierungen vorzufinden.

Im gesamten Unterrichtsmaterial für diese Einheit wurde an den Stellen, wo die Schülerinnen und Schüler etwas schreiben sollen, das Icon des Stiftes aus der Arbeitsmappe der ersten Unterrichtsstunde ergänzt, wie zum Beispiel bei den Aufträgen der Komitee-Mitglieder (vgl. Abb. 5.59)

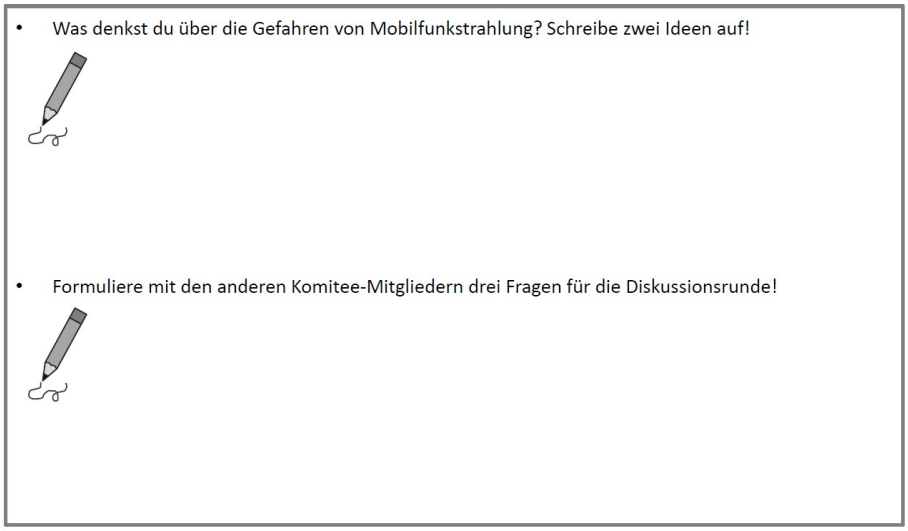


Abbildung 5.59: Die überarbeiteten Aufträge der Komitee-Mitglieder

KAPITEL 6

Diskussion

Ziel dieser Diplomarbeit war die Erstellung von verständlichem und im Regelunterricht einsetzbarem Material zum Thema Mikrowellenstrahlung. Der kombinierte Einsatz des Design-Based Research Ansatzes und der Think-Aloud Methode ermöglichte das vorab entwickelte Lernmaterial sowohl in kleinem Rahmen, als auch unter unkontrollierbaren Bedingungen in der Schule zu erproben und durch weiterführende Analyse zu verbessern und weiterzuentwickeln. Daraus resultiert das Endmaterial, das die gestellten Anforderungen dabei weitestgehend erfüllt.

Ein wichtiger Punkt, der im Zuge dieser Diplomarbeit nicht erfasst werden konnte, jedoch wesentliche Auswirkungen auf die erfolgreiche und zielführende Umsetzung des Materials im Unterricht hat, ist die Lernwirksamkeit der Unterrichtseinheit. Es bedarf weiterer Forschung, um sicherstellen zu können, dass die in der Didaktischen Analyse (siehe Abschnitt 5.1) formulierten Grob- und Feinziele auch tatsächlich von den Schülerinnen und Schülern erreicht werden. Wenn man als Lehrperson in der Umsetzung des Unterrichtskonzeptes Ziele formuliert und anstrebt, jedoch die Erreichung derselbigen nicht überprüft, kann von lernwirksamem Unterricht keine Rede sein (Häußler, 2015, S. 249). Es ist deshalb wichtig, die Sicherung des Lernerfolges zu überprüfen.

Es ist äußerst unwahrscheinlich, dass alle definierten Feinziele im Rahmen der Unterrichtseinheit erreicht werden, sie wurden jedoch als eine Art „Ideal“ in der Didaktischen Analyse angeführt und es wurde versucht diese Ziele anzustreben. Ebenso wurde das Unterrichtsmaterial unter Berücksichtigung eines jeden einzelnen Ziels entwickelt. Um die Feinziele auf ein realistisches und durchführbares Maß zu begrenzen, würde ich folgende Ziele für die Unterrichtseinheit hervorheben:

- Den Schülerinnen und Schülern soll klar sein, dass Mikrowellen elektromagnetische Wellen sind, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen wissen, dass die verschiedenen Strahlungsarten durch die Wellenlänge λ unterschieden werden und entsprechend der Wellenlänge am

elektromagnetischen Spektrum eingeordnet werden.

- Die Schülerinnen und Schüler sollen wissen, dass Mikrowellenstrahlung bei Interaktion mit Materie sowohl transmittiert (durchgelassen), absorbiert, als auch reflektiert werden kann.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen einige Materialien nennen können, welche Mikrowellenstrahlung reflektieren, transmittieren und absorbieren.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen einige Anwendungsgebiete von Mikrowellenstrahlung nennen können, wie z.B. Übertragung von Mobilfunk, Erwärmung von Lebensmitteln, Satellitenfernsehen.
- Die Schülerinnen und Schüler sollen erkennen, dass in der Wissenschaft noch kein endgültiges Forschungsergebnis zur Gefahr von Mobilfunkstrahlung für den Menschen erreicht wurde.

Eine weitere Testung des Materials der Unterrichtseinheit wäre notwendig, um zu überprüfen, ob die letzten Änderungen am Material die gewünschten Effekte erzielen. Die erste Stunde der Unterrichtseinheit bedarf einer weiteren Durchführung, denn bei der zweiten Forschungsstation des Stationenbetriebs wurde die Versuchsanleitung stark verändert. Die Schülerinnen und Schüler sind nun aufgefordert, die verschiedenen Material in Teams auf die Eigenschaften bei Interaktion mit Mobilfunkstrahlung zu testen. Diesbezüglich erfolgte eine Anpassung der Versuchsanleitung sowie der entsprechenden gestuften Lernhilfe. Es wird damit gerechnet, dass die Schülerinnen und Schüler mit dieser Änderung besser als bisher zurecht kommen, da durch die parallele Testung jeweils eines transmittierenden und eines reflektierenden Materials genau zu lokalisieren ist, welches der Mobiltelefone läutet, der zeitliche Aspekt begünstigt wird und alle Schülerinnen und Schüler in die Bearbeitung der Aufgabe miteinbezogen werden. Trotzdem ist noch offen, ob die überarbeitete Version dieser Station den gewünschten Erfolg bringt. Durch die anderen, weniger umfassenden Änderungen der Arbeitsmappe wird eine noch flüssigere Bearbeitung seitens der Schülerinnen und Schüler erwartet.
Generell ist zu sagen, dass bei der Erprobung des Materials im Unterricht die Erwartungen erfüllt wurden und die erste Stunde der Einheit somit erfolgreich im Unterricht eingesetzt werden kann. Die Schülerinnen und Schüler konnten die Aufgaben selbstständig lösen und hatten sichtlich Spaß bei der Bearbeitung des Stationenbetriebs.

Eine erneute Testung wäre besonders in Bezug auf die zweite Unterrichtsstunde der Einheit notwendig. Da die erste Überarbeitung des Lernmaterials für die zweite Stunde (Diskussionsrunde) über Ostern stattgefunden hat und deshalb eine größere Pause zwischen der Durchführung der beiden Stunden in der 4D lag (siehe Tabelle 5.1), kann nicht davon ausgegangen werden, dass ein erfolgreicher Wissenstransfer der Inhalte der ersten Unterrichtsstunde erfolgt ist. Da die entwickelte Unterrichtseinheit ein zusammenhängendes

Unterrichtskonzept ist, ist es von großer Bedeutung, die beiden Stunden in kürzestmöglichem Abstand zueinander durchzuführen, was in dem Fall der 4D nicht umgesetzt werden konnte. Das Material, welches als Grundlage für die Umsetzung der Diskussionsrunde erarbeitet wurde, müsste auf jeden Fall erneut evaluiert und entsprechend der Ergebnisse überarbeitet werden.

Ebenfalls bleibt die Frage offen, ob es eine Möglichkeit gibt, die Schülerinnen und Schüler noch aktiver in die Diskussion einzubinden. Die Erarbeitung von Fragen für die Moderation, die während der Gesprächsbeiträge der Studienvertreterinnen und -vertreter an die Expertinnen und Experten gestellt werden, hat den Verlauf der Diskussion aufgelockert und für mehr „Diskussionscharakter“ gesorgt. Es bleibt dabei jedoch eher bei, wie zuvor erwähnt, „Gesprächsbeiträgen“ und die Schülerinnen und Schüler sehen ihre Aufgabe als getan, wenn sie die Informationen ihres jeweiligen Themas angebracht haben. Wünschenswert wäre hier, wenn die Schülerinnen und Schüler, statt des einmaligen „zu Wort kommens“, mehrmals während der Diskussion die Sprecherinnen- und Sprecherrolle übernehmen würden. Das erstellte Material bietet eine solide Grundlage für weitere Forschungen in diesem Gebiet, um eine noch wirksamere Umsetzung im Unterricht zu erzielen. Es sei zu erwähnen, dass die zweite Stunde der Einheit nicht zur Gänze ausgereift ist, jedoch das im Rahmen dieser Arbeit Möglichste getan wurde, um auch mit den Materialien dieser Stunde im Unterricht erfolgreich arbeiten zu können.

Die Limitationen dieser Arbeit umfassen, unter anderem, die geringe Anzahl der Schülerinnen und Schülern für die Durchführung der Think-Alouds – nur eine Schülerin und ein Schüler –, sowie für die Erprobung der Unterrichtseinheit in der Schule – nur drei 4. Klassen. Für eine ideale Konstellation wären mehr Schülerinnen und Schüler nötig gewesen, sowohl für die erste Testung des Materials anhand der Think-Aloud Methode, als auch für die Erprobung der Einheit in der Schule. „Mehr“ ist dabei eine sehr wage Zahl, so kann dies von vornherein nicht festgelegt werden, kommt es doch auf die Anzahl der Überarbeitungen und der Qualität der Ergebnisse an. In diesem Zusammenhang soll nochmals angeführt werden, dass die Endversion dieser Unterrichtseinheit nicht als abgeschlossen betrachtet werden kann bzw. soll und es weiterer Testungen bedarf.

Es wäre von Vorteil gewesen, wenn die Schülerinnen und Schüler vor Ende der gesamten Einheit einen Feedback-Bogen mit ein paar spezifischen Fragen erhalten hätten. Dadurch wäre es möglich gewesen, von allen Klassen und nicht nur von einer, Feedback zur Unterrichtseinheit einholen zu können. Da die Entwicklung und Überarbeitung des Materials jedoch auf wissenschaftlich erprobten Forschungsmethoden basieren, nimmt dies auf die Endversion des Materials keinen Einfluss.

Der zeitliche Plan, die Unterrichtseinheit im Rahmen von zwei Schulstunden abzuhalten, konnte erfolgreich umgesetzt werden. Die Testungen in den drei vierten Klassen (vgl. Tab.

5.1) bestätigten, dass sich die Durchführung der Unterrichtseinheit in zwei Schulstunden gut ausgeht.
Zusätzlich sollte betont werden, dass sich dieses Unterrichtskonzept durch den Einsatz alltagsbezogener Materialien und den damit verbundenen geringen Kosten der Anschaffung besonders eignet. Den Schülerinnen und Schülern kann dadurch der starke Zusammenhang zwischen Physik und Alltag veranschaulicht werden, Interesse kann geweckt und Motivation geschaffen werden.

Ausblick

Im Folgenden will ich einige Punkte nennen, deren Bearbeitung in dieser Arbeit keinen Raum gefunden hat, die jedoch einer weiteren Untersuchung bedürfen.
Im Gegensatz zur ersten Stunde der Einheit, die, wie sich anhand der Ergebnisse erkennen lässt, die gestellten Anforderungen erfüllt und sehr gut im Unterricht umzusetzen ist, steckt noch mehr Potential im Material für die zweite Stunde, weshalb hier weitergehende Forschung erwünscht und erforderlich ist. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf die Umsetzung der Diskussionsrunde gelegt werden. Es wäre erstrebenswert, wenn durch diese Arbeit Anreiz für weitere Arbeiten im Gebiet der Mikrowellen-, sowie Mobilfunkstrahlung geschaffen wird.

Wie schon zuvor erwähnt, ist eine Überprüfung der Lernwirksamkeit des Materials erforderlich. Bei der Art der Methode, die zur Überprüfung des Lernerfolges gewählt wird, sollten die Schülerinnen und Schüler Verständnis für fachliche Zusammenhänge aufbringen müssen. Damit wird Fokus auf das analytische Denken gelegt und dem „Auswendig lernen“ entgegengewirkt (Häußler, 2015, S. 249). Die Entwicklung eines geeigneten Testinstruments wäre erforderlich.

Es wäre möglich, das erstellte Unterrichtsmaterial anzupassen und eine Adaptierung für die 11. oder 12. Schulstufe vorzunehmen. Die Arbeitsunterlagen würden sich für diese Art der Weiterentwicklung anbieten und könnten um entsprechende physikalische Grundlagen (Welle-Teilchen Dualismus, Photonenenergie, etc.) erweitert werden.

In der physikdidaktischen Forschung sind Erkenntnisse über Schülervorstellungen zu Mikrowellenstrahlung Mangelware. Es bedarf weiterführender Forschung, um die vorhandenen Prä-Konzepte der Schülerinnen und Schüler zu Mikrowellenstrahlung erfassen und dokumentieren zu können und somit die Basis für weitere Unterrichtskonzepte schaffen zu können. Denn das Lernen von Schülerinnen und Schüler im naturwissenschaftlichen Unterricht wird hauptsächlich davon bestimmt, inwiefern deren Vorstellungen im Lernprozess berücksichtigt werden (Neumann & Hopf, 2011, S. 158).

Zuletzt will ich noch auf Kolleginnen und Kollegen der Universität Wien eingehen, die ebenfalls Diplomarbeiten zum Thema nicht-sichtbarer Strahlung und deren Einsatz im Regelunterricht verfasst haben. Ein angestrebtes Ziel des Kompetenzzentrums Physik ist es, durch diese und folgende Arbeiten, eine Unterrichtsreihe zu elektromagnetischer Strahlung zu entwickeln. Unterrichtskonzepte zu UV-Strahlung, Infrarotstrahlung, und Röntgenstrahlung wurden bereits entwickelt und zum Teil durch den kombinierten Einsatz der Think-Aloud Methode und des Design-Based Research Ansatzes im Unterricht erprobt. Als weitere Methode wurde in diesem Zusammenhang auch die CAPT-Methode – *Cross Age Peer Tutoring* – gewählt, bei der die Schülerinnen und Schüler die Rolle von Tutorinnen und Tutoren übernehmen und mit jüngeren Schülerinnen und Schülern Lerninhalte erarbeiten.
Durch diese Arbeit soll ein weiterer Schritt getan werden, um dem Ziel eines schülerinnen- und schülerzentrierten Lehrgangs zum Thema Strahlung ein Stück weit näher zu kommen.

Literatur

Baalmann, W., Frerichs, V., Weitzel, H., Gropengießer, H. & Kattmann, U. (2004). Schülervorstellungen zu Prozessen der Anpassung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* (10), 7–28.

Barab, S. & Squire, K. (2004). Design-Based Research: Putting a Stake in the Ground. *The Journal of the Learning Sciences*, *13* (1), 1–14.

Bauknecht, M. (2015). Das gläserne Handy. *Physik der Naturwissenschaften*, *64* (2), 26–35.

Benson, V. S., Pirie, K., Schuz, J., Reeves, G. K., Beral, V. & Green, J. (2013). Mobile phone use and risk of brain neoplasms and other cancers: prospective study. *International Journal of Epidemiology*, *42* (3), 792–802.

Berger, R. (2002). Das Mikrowellengerät - ein interessanter Küchenhelfer. *Praxis der Naturwissenschaften*, *51*, 9–17.

Bernhardt, J. (2005). Elektrosmog, Handys, Solarien usw. - Gesundheitsrisiken durch Strahlung? *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforsch.Gesundheitsschutz*, *48* (1), 63–75.

BIFIE - Bundesinstitut für Bildungsforschung Innovation & Entwicklung des österreichischen Schulwesens. (2011). *Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe.* Wien: Zentrum für Innovation und Qualitätsentwicklung. Zugriff am 2017-12-02 auf `http://www.bifie.at/wp-content/uploads/2017/06/bist{\_}nawi{\_}kompetenzmodell-8{\_}2011-10-21.pdf`

Blievernicht, U. (2017). Mehrstrahlantennen - Beginn einer Kapazitätsrevolution. *elektronik industrie* (9), 52–53.

BMBWF - Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung. (2003). *Lehrplan Physik Unterstufe.* Zugriff am 2017-12-02 auf `https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16{\_}791.pdf?61ebzq`

BMBWF - Bundesministerium für Bildung Wissenschaft und Forschung. (2004). *Allgemeiner Teil des österreichischen Lehrplans.* Zugriff auf `https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/11668{\_}11668.pdf?4dzgm2`

Brown, A. L. (1992). Design Experiments: Theoretical and Methodological Challenges in Creating Complex Interventions in Classroom Settings. *The Journal of the Learning Sciences*, *2* (2), 141–178.

Clement, J. (1993). Using Bridging Analogies and Anchoring Intuitions to Deal with Students' Preconceptions in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, *30* (10), 1241–1257.

Duit, R. (2015). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In *Physikdidaktik: Theorie und praxis* (3. Aufl., S. 657–680). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Duit, R. & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, *25* (6), 671–688.

Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, *11* (1), 105–121.

Franke-Braun, G., Schmidt-Weigand, F., Stäudel, L. & Wodzinski, R. (2008). Aufgaben mit gestuften Lernhilfen – ein besonderes Aufgabenformat zur kognitiven Aktivierung der Schülerinnen und Schüler und zur Intensivierung der sachbezogenen Kommunikation. *Lernumgebungen auf dem Prüfstand*, 27–42.

Frei, P., H. Poulsen, A., Johansen, C., H. Olsen, J., Steding-Jessen, M. & Schüz, J. (2011). Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study. *BMJ (Clinical research ed.)*, *343*, d6387.

Frommann, U. (2005). *Die Methode 'Lautes Denken'.* Tübingen. Zugriff am 2017-12-02 auf `https://www.e-teaching.org/didaktik/qualitaet/usability/LautesDenken{\_}e-teaching{\_}org.pdf`

Hänze, M., Schmidt-Weigand, F. & Stäudel, L. (2010). Gestufte Lernhilfen. In *Innere differenzierung in der sekundarstufe ii. ein praxishandbuch für lehrer/innen.* (S. 63–73). Weinheim.

Hardell, L. & Carlberg, M. (2015). Mobile phone and cordless phone use and the risk for glioma – Analysis of pooled case-control studies in Sweden, 1997–2003 and 2007–2009. *Pathophysiology*, *22*, 1–13.

Häußler, P. (2015). Wie lässt sich der Lernerfolg messen? In *Physikdidaktik - theorie und praxis* (3. Aufl., S. 247–294). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Hess, K. R., Broglio, K. R. & Bondy, M. L. (2004, nov). Adult glioma incidence trends in the United States, 1977-2000. *Cancer*, *101* (10), 2293–2299.

International Agency for Research on Cancer. (2018a). *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.* Zugriff am 2018-03-10 auf `http://monographs.iarc.fr/index.php`

International Agency for Research on Cancer. (2018b). *List of classifications, Volumes 1-120.* Zugriff am 2018-03-10 auf `http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsAlphaOrder.pdf`

Jung, W. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik/Chemie*, *34* (13), 2–6.

Karger, C. P. (2005). Mobile phones and health: A literature overview. *Zeitschrift für Medizinische Physik*, *15* (2), 73–85.

Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion: Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *3* (3), 3–18.

Klafki, W. (1962). Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In *Auswahl: Grundlegende aufsätze aus der zeitschrift die deutsche schule* (S. 5–34). Hannover: Hermann Schroedel Verlag KG.

Klinger, H. H. (1966). *Mikrowellen: Grundlagen und Anwendungen der Höchstfrequenztechnik.* Berlin, Borsigwalde: Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik.

Kogan, P. (1966). *Das unsichtbare Spektrum: Grundlagen der elektromagnetischen Strah-*

lung. Kurfürst-Verlag.

Konitzer, F. (2015). *Welt der Physik: Planck und die Mikrowellenhintergrundstrahlung.* Zugriff am 2018-01-09 auf `https://www.weltderphysik.de/gebiet/astro/kosmische-strahlung/planck-und-die-mikrowellenhintergrundstrahlung/`

Krüger, D. & Riemeier, T. (2014). Die qualitative Inhaltsanalyse - eine Methode zur Auswertung von Interviews. In *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen forschung* (S. 133–145). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Krutzler, T., Petti, P., Valda, A. & Plotz, T. (2016). Mikrowellen: Möglichkeiten zur Einbindung in den Unterricht. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, *65* (2), 33–36.

Leisen, J. (1999). *Methoden-Handbuch des Deutschsprachigen Fachunterrichts (DFU).* Bonn: Varus Verlag.

Little, M. P., Rajaraman, P., Curtis, R. E., Devesa, S. S., Inskip, P. D., Check, D. P. & Linet, M. S. (2012). Mobile phone use and glioma risk: comparison of epidemiological study results with incidence trends in the United States. *BMJ (Clinical research ed.)*, *344*, e1147.

Mattes, W. (2006). Einzel-, Partner-, Gruppenarbeit - Kompetenzförderung durch kompetente Planung. In *Routiniert planen - effizient unterrichten: Ein ratgeber* (S. 86–103). Paderborn: Schöningh.

Meyer, H. (2010). *Was ist guter Unterricht?* Berlin: Cornlesen Skriptor.

Neumann, S. & Hopf, M. (2011). Was verbinden Schülerinnen und Schüler mit dem Begriff ‚Strahlung'? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *Jg. 17*, 157–176.

Neumann, S. & Hopf, M. (2012). Students' Conceptions about "Radiation": Results from an Explorative Interview Study of 9th Grade Students. *Journal of Science Education and Technology*, *21* (6), 826–834.

PHYWE. (2017). *Reflexion, Transmission und Brechung von Mikrowellen.* PHYWE Systeme GmbH & Co. KG. Zugriff am 2018-01-22 auf `https://repository.curriculab.net/files/versuchsanleitungen/p2460301/p2460301d.pdf`

Plotz, T. (2016). Handystrahlung. Wie gefährlich ist sie jetzt wirklich? - Evidenzen und Interpretationen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, *65* (2), 37–39.

Plotz, T. (2017a). Mobile Phone Radiation and Cancer. *The Physics Teacher*, *55* (4), 210–213.

Plotz, T. (2017b, jan). Students' conceptions of radiation and what to do about them. *Physics Education*, *52* (1), 1–6.

Reinfried, S., Mathis, C. & Kattmann, U. (2009). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, *3* (27), 404–414.

Rodenbücher, C. (2018). *Elektromagnetisches Spektrum.* Zugriff am 2018-04-27 auf `http://www.physicoro.de/umrechnungen/spektrum.png`

S. de Boer, K. (2007). *Welt der Physik: Die kosmische Hintergrundstrahlung.* Zugriff

am 2018-01-08 auf https://www.weltderphysik.de/gebiet/astro/kosmologie/die-kosmische-hintergrundstrahlung/

Schlobach, M. T. & Mag Wenk, S. (2015). *Schülervorstellung von Mikrowellenstrahlung* [VWA]. 1140 Wien. Zugriff am 12.02.2017 auf https://www.sparklingscience.at/{_}Resources/Persistent/271125271ab7f5daa661c0481d0ed7ed88799113/VWAMarleenSchlobach.pdf

Schnell, C. (2016). "Lautes Denkenäls qualitative Methode zur Untersuchung der Validität von Testitems. *Zeitschrift für ökonomische Bildung*, *5* (5), 26–49.

Schulz von Thun, F. (1975). Verständlich informieren. *Psychologie Heute*, 42–51.

Stäudel, L., Franke-Braun, G. & Schmidt-Weigand, F. (2007). Komplexität erhalten - auch in heterogenen Lerngruppen: Aufgaben mit gestuften Lernhilfen. *Chemkon*, *14* (3), 115–122.

Stuart, H. & Klages, G. (2010). *Kurzes Lehrbuch der Physik.* Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

The American Cancer Society medical and editorial content team. (2016). *Known and Probable Human Carcinogens.* Zugriff am 2018-02-27 auf https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/general-info/known-and-probable-human-carcinogens.html{\#}written{_}by

The INTERPHONE Study Group. (2010). Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *International Journal of Epidemiology*, *39* (3), 675–694.

Tipler, P. A. (1994). *Physik* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Tipler, P. A. & Mosca, G. (2015). Die Maxwell'schen Gleichungen – Elektromagnetische Wellen. In *Physik* (S. 979–1003). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Vosniadou, S., Vamvakoussi, X. & Skopeliti, I. (2008). The Framework Theory Approach to the Problem of Conceptual Change. In *International handbook of research on conceptual change* (S. 1–34). Routledge.

Wikipedia. (2018). *Smartphone.* Zugriff am 2018-04-17 auf https://de.wikipedia.org/wiki/Smartphone

Wilhelm, T. & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen forschung* (S. 31–42). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Zhi, W.-J., Wang, L.-F. & Hu, X.-J. (2017). Recent advances in the effects of microwave radiation on brains. *Military Medical Research*, *4* (1), 29.

Zloklikovits, S. (2016). *Entwicklung von Unterrichtsmaterialien zum Thema UV-Strahlung* (Diplomarbeit). Universität Wien.

KAPITEL 7

Anhang

7.1 Ausgangsmaterial

7.1.1 Erste Unterrichtsstunde

- Arbeitsmappe
- Gestufte Lernhilfen

Name: _____ Klasse: _____

MIKROWELLENSTRAHLUNG

1. Elektromagnetische Strahlung – Was ist das genau?

Lies dir folgenden Text zu elektromagnetischer Strahlung durch:

Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, werden als **elektromagnetische Strahlung** bezeichnet. Man unterscheidet dabei verschiedene Arten von elektromagnetischer Strahlung. Die sichtbare Strahlung, auch „sichtbares Licht" genannt, ist dir sicher bekannt. Andere Strahlungsarten wie Mikrowellen-, Infrarot-, UV- und Röntgenstrahlung sind Teil der unsichtbaren Strahlung.

Die verschiedenen Formen der Strahlung teilt man auf Grund ihrer unterschiedlichen Wirkungen ein. Diese Einteilung erfolgt über das **elektromagnetische Spektrum** (siehe Abbildung).

Sichtbare Strahlung ist die einzige Strahlung, die wir Menschen mit unseren Augen wahrnehmen können und die somit für uns sichtbar ist.

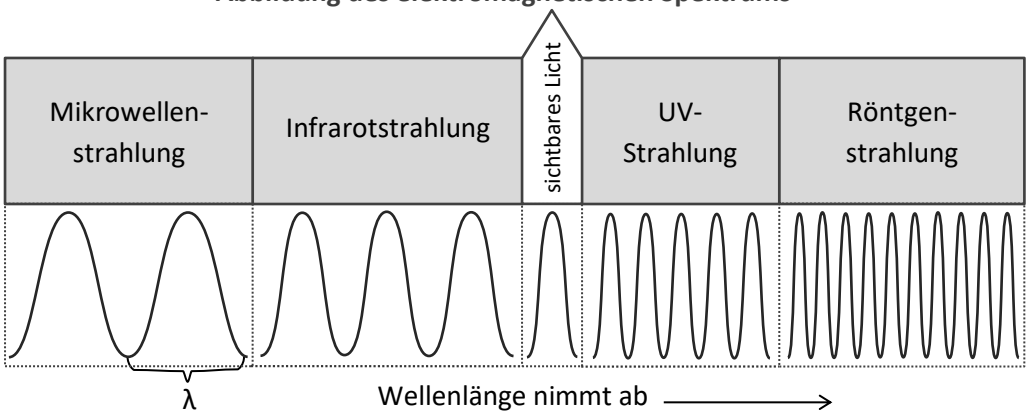
Unsichtbare Strahlung können wir nicht sehen, teilweise jedoch fühlen.

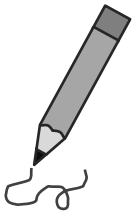
Die wärmende Wirkung der Infrarotstrahlung können wir mit unserer Haut spüren. Infrarotstrahlung wird von Gegenständen auf Grund ihrer Temperatur emittiert (emittieren = aussenden). Auch du emittierst Infrarotstrahlung!

Die physikalische Größe, die für die unterschiedlichen Wirkungen und damit für die verschiedenen Strahlungsarten verantwortlich ist, ist die sogenannte Wellenlänge λ („lambda"). Jede Art der elektromagnetischen Strahlung wird durch einen bestimmten Wellenlängenbereich definiert.

Heute wirst du einiges über **Mikrowellenstrahlung** erfahren. Die Wellenlängen von Mikrowellen liegen im Bereich von 1m bis 1mm. Mikrowellenstrahlung wird z.B. zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen, zur Kommunikation mit Handy oder WLAN und fürs Satellitenfernsehen eingesetzt.

Abbildung des elektromagnetischen Spektrums





Partnerarbeit:

Schreibe mit deiner Partnerin/deinem Partner drei Merksätze zum Text auf.

Folgende Wörter sollen dabei enthalten sein: ***Strahlung***, ***elektromagnetisches Spektrum***, ***Wellenlänge*** *und* ***Mikrowellenstrahlung***.

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Strahlung	Elektromagnetisches Spektrum	Wellenlänge	Mikrowellenstrahlung

2. Experimentieren mit Mikrowellen

Gemeinsam mit deiner Forschungsgruppe führst du drei Experimente zu Mikrowellenstrahlung durch. Die dafür benötigten Materialien findest du an den jeweiligen Forschungsstationen. Beachte die Infokästchen mit hilfreichen Tipps!

Forschungsstation 1 – Wellenlänge

Forschungsstation 2 – Mobilfunkstrahlung

Forschungsstation 3 – Mikrowellenstrahlung

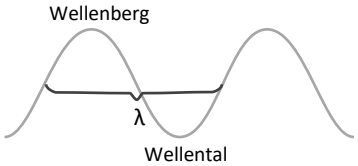
Forschungsstation 1 – Wellenlänge

Wie du aus dem Text zu elektromagnetischer Strahlung weißt, wird Mikrowellenstrahlung zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen eingesetzt. Die erzeugten Mikrowellen besitzen eine bestimmte **Wellenlänge λ**, die du ermitteln wirst.

Material:	Mikrowellenofen, Schokolade, Teller, Stoppuhr, Lineal
Anleitung:	Packe die Schokolade aus der Folie aus und leg sie in die Mitte des Tellers. Platziere den Teller im hinteren Bereich des Mikrowellenofens und schalte diesen bei 600 W für 45 Sekunden ein. Miss die Zeit mit einer Stoppuhr. Nimm den Teller aus dem Mikrowellenofen und miss mit dem Lineal den Abstand zwischen den geschmolzenen „Hot Spots“ auf der Schokolade. Notiere dir den Wert.

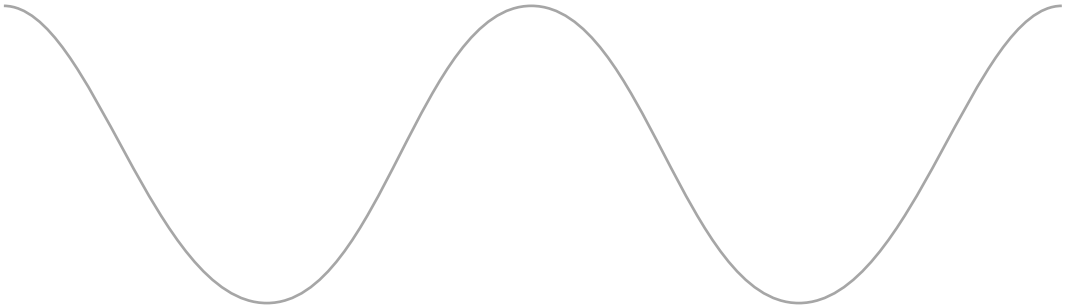
1. Zusatz-Info:

„Hot Spots“ treten an Wellenbergen und -tälern auf. Dort ist die Schwingung der Mikrowelle und somit die Energie am größten. Der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“ ist als die halbe Wellenlänge $\lambda/2$ definiert.



Überlege wie du aus deiner Messung die Wellenlänge der Mikrowellen ermitteln kannst und schreibe den Wert der Wellenlänge λ auf:

Zeichne in die folgende Abbildung die halbe Wellenlänge $\lambda/2$ und die Bereiche, an denen „Hot Spots“ entstehen können, ein:



Überprüfe, ob du mit deinem Ergebnis für die Wellenlänge λ der Mikrowellen des Mikrowellenofens richtig liegst!

Auf der Rückseite des Mikrowellenofens steht die Frequenz *f*. Notiere dir den Wert.

Die Frequenz *f*, die Ausbreitungsgeschwindigkeit *c* und die Wellenlänge *λ* werden durch diese **Formel** beschrieben: $\boldsymbol{f} = \frac{\boldsymbol{c}}{\boldsymbol{\lambda}}$

Forme die Gleichung um und berechne die Wellenlänge λ:

2. Zusatz-Info:

Die Frequenz *f* ist eine physikalische Größe und gibt die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit an. Die Einheit ist Hertz (Hz).

Die Lichtgeschwindigkeit *c* beträgt 300.000.000 m/s.

Forschungsstation 2 – Mobilfunkstrahlung

Mikrowellenstrahlung kann, wie jede Art von elektromagnetischer Strahlung, durch gewisse Materialien abgeschirmt werden. Im folgenden Versuch wirst du mit deinem Forschungsteam ermitteln, wie sich Mikrowellenstrahlung in Verbindung mit unterschiedlichen Materialien verhält.

Material:	Zwei Handys bzw. Smartphones, Box aus Kunststoff, Kartonschachtel, Alufolie, Zwei Keramiktöpfe, Silbergitter-Stoff, Edelstahlgewebe
Anleitung:	Teste alle Materialien auf ihre Eigenschaften bei Interaktion mit Mobilfunkstrahlung. Ein Handy musst du dafür vollständig mit dem jeweiligen Material umgeben. Achte dabei darauf, dass das Handy von allen Seiten mit Material bedeckt ist. Anschließend rufst du es mit dem anderen Handy an. Notiere deine Beobachtungen und überlege dir eine Erklärung.

Zusatz-Info:

Die emittierte Mikrowellenstrahlung von Mobiltelefonen, nennt man **Mobilfunkstrahlung**.

Handys kommunizieren über Mikrowellen. Also wird bei abgehenden und einkommenden Anrufen Mikrowellenstrahlung emittiert.

Was konntest du beobachten?

Kunststoff:	
Karton:	
Alufolie:	
Keramik:	
Silbergitter-Stoff:	
Edelstahlgewebe:	

Wie kannst du dir deine Beobachtungen erklären?

Forschungsstation 3 – Mikrowellenstrahlung

Der Mikrowellenofen wird im Alltag genutzt, um Lebensmittel zu erwärmen. Durch ein elektrisches Bauteil – ein Magnetron – werden Mikrowellen erzeugt, die sich im Innenraum ausbreiten. Mit deinem Forschungsteam führst du folgenden Versuch zu den Eigenschaften von Mikrowellenstrahlung durch.

Material:	Mikrowellenofen, Zwei Gläser, Wasser, Alufolie, Thermometer
Anleitung:	Fülle beide Gläser halb mit Wasser und miss die Anfangstemperaturen. Notiere dir die Werte. Umhülle ein Glas vollständig mit Alufolie. Achte darauf, dass keine Kanten entstehen und die Oberfläche glatt bleibt. Stelle beide Gläser für 45 Sekunden bei höchster Stufe in den Mikrowellenofen. Miss die Endtemperaturen des Wassers beider Gläser erneut und notiere dir die Werte.

Wassertemperatur	Glas ohne Alufolie	Glas mit Alufolie
Anfangstemperatur	°C	°C
Endtemperatur	°C	°C

Versuche gemeinsam mit deinem Forschungsteam eine Begründung für den Ausgang des Experiments zu formulieren:

Zusatz-Info:

Gewisse Stoffe **transmittieren** Mikrowellenstrahlung. Sie lassen Strahlung ungehindert durch. Andere Stoffe **absorbieren** Mikrowellenstrahlung. Dabei wird Strahlungsenergie in Wärmenergie umgewandelt. Eine weitere Stoffgruppe **reflektiert** Mikrowellenstrahlung, das Eindringen der Strahlung wird verhindert und sie wird zusätzlich reflektiert. Dabei gilt das Reflexionsgesetz: Der Einfallswinkel α ist gleich dem Ausfallswinkel β.

Tipp Nr. 1

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Unterstreiche mit deiner Partnerin/deinem Partner die Abschnitte im Text zu elektromagnetischer Strahlung, die ihr als besonders wichtig erachtet!

Tipp Nr. 2

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Überprüfe, ob in den unterstrichenen Passagen folgende Wörter vorkommen: Strahlung, elektromagnetisches Spektrum, Wellenlänge und Mikrowellenstrahlung.

Tipp Nr. 3

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Versucht mit Hilfe der unterstrichenen Abschnitte aus dem Text und den Wörtern auf Seite 2 drei Sätze zu bilden. Sind darin alle wichtigen Informationen enthalten?

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 1 –Experiment:

Achte bei der Platzierung des Tellers mit der Schokolade im Mikrowellenofen darauf, dass sich der Teller mittig und im hinteren Bereich der Mikrowelle befindet. Dort erhält man gut sichtbare „Hot Spots“.

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 1 –Experiment:

Um den Abstand zwischen den „Hot Spots“ zu messen, orientiere dich an den geschmolzenen Stellen. Miss mit einem Lineal vom Mittelpunkt eines „Hot Spots“ zum Mittelpunkt eines anderen „Hot Spots“.

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 1 –Experiment:

Der von dir und deiner Forschungsgruppe gemessene Wert, also der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“, sollte zwischen 6 cm und 7 cm liegen.

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 1 – Wellenlänge aus Experiment ermitteln:

Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des 1. Zusatz-Info Kästchens durch.

Könnt ihr mit diesen Informationen den Wert der Wellenlänge λ ermitteln?

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 1 – Wellenlänge aus Experiment ermitteln:

Die „Hot Spots“ sind sehr heiße Stellen, die an Wellenbergen und Wellentälern auftreten. Du hast den Abstand zwischen den „Hot Spots“ auf der Schokolade gemessen und dieser Wert ist die Hälfte der Wellenlänge λ.

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 1 – Wellenlänge aus Experiment ermitteln:

Der von dir und deiner Forschungsgruppe gemessene Wert, also der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“, muss mit 2 multipliziert werden. Dann erhaltet ihr die Wellenlänge der Mikrowellen des Mikrowellenofens.

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 1 – Abbildung:

Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des 1. Zusatz-Info Kästchens durch.

Könnt ihr mit diesen Informationen die Abbildung korrekt beschriften?

Tipp Nr. 2

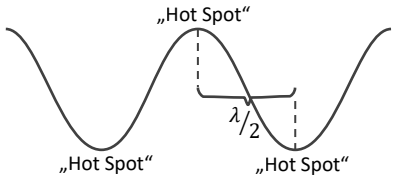
Forschungsstation 1 – Abbildung:

Die „Hot Spots“ werden an derselben Stelle eingezeichnet, wie die Wellenberge bzw. -täler. Die halbe Wellenlänge wird als der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“ definiert.

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 1 – Abbildung:

Deine Abbildung könnte so aussehen:



Tipp Nr. 1

Forschungsstation 1 – Wellenlänge berechnen:

Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des 2. Zusatz-Info Kästchens durch.

Könnt ihr mit diesen Informationen den Wert der Wellenlänge λ berechnen?

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 1 – Wellenlänge berechnen:

Kontrolliere, ob der Wert der Frequenz f korrekt vom Mikrowellenofen notiert ist. Schreibe dir diesen Wert und den Wert für c auf und setze die Werte in die Formel ein. Forme die Gleichung nach λ um.

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 1 – Wellenlänge berechnen:

Die Wellenlänge λ ist die Lichtgeschwindigkeit c dividiert durch die Frequenz f. Die umgeformte Gleichung sollte also so aussehen: $\lambda = \frac{c}{f}$. Setze die Werte für c und f ein und berechne dir λ!

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 2 – Experiment und Beobachtungen:

Wickle die Folien bzw. Stoffe (Alufolie, Silbergitter-Stoff und Edelstahlgewebe) zwei Mal um das Mobiltelefon!

Achte darauf, dass die beiden Keramiktöpfe abschließen. Lege das Handy in den größeren und stelle den kleineren kopfüber darauf.

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 2 – Experiment und Beobachtungen:

Notiere in die zugehörigen Kästchen, was du bei den Versuchen beobachten konntest.

Mögliche Beobachtungen: Mobilfunkstrahlung wird transmittiert (durchgelassen), oder reflektiert (zurückgeworfen).

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 2 – Experiment und Beobachtungen:

Erklärung der Beobachtungen:

Mobilfunkstrahlung wird bei Interaktion mit Karton, Kunststoff und Keramik transmittiert.

Mobilfunkstrahlung wird bei Interaktion mit Alufolie, Silbergitter-Stoff und Edelstahlgewebe (i.A. Metallen) reflektiert.

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 3 – Experiment:

Achte beim Messen der Temperaturen darauf, dass das Thermometer vollständig von Wasser umgeben ist. Am besten platzierst du es in der Mitte des jeweiligen Glases. Notiert euch die exakten Werte!

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 3 – Experiment:

Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des Zusatz-Info Kästchens durch.

Könnt ihr mit diesen Informationen den Ausgang des Versuchs erklären?

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 3 – Experiment:

Erklärung des Versuchs:

Glas transmittiert Mikrowellenstrahlung.

Wasser absorbiert Mikrowellenstrahlung.

Alufolie reflektiert Mikrowellenstrahlung.

7.1.2 Zweite Unterrichtsstunde

- Moderation
- Studienvertreterinnen und -vertreter
- Komitee
- Expertinnen und Experten

Moderator/in

- Diskussionsrunde mit Vertreter/innen verschiedener Studien zum Thema „Mobilfunkstrahlung – Gefahr oder Nutzen“
- Komitee objektiver Zuhörer/innen fällt am Ende Urteil
  - Infos sammeln, notieren und kategorisieren
  - Bei Unklarheiten Fragen an die Teilnehmer/innen stellen
- Ziel der Debatte
  - Einigung oder Kompromiss

Moderator/in

- 10 Minuten Zeit, um die Info-Kärtchen zu lesen
  - Vertreter/innen derselben Studie besprechen zu zweit die Infos
- Überlegt euch, was für Informationen in der Diskussion erwähnt werden sollen
  - Aktiv zuhören und Bezug zu bereits Erwähntem herstellen
  - Wertschätzender Umgang miteinander
  - Einander ausreden lassen

Moderator/in

- Aktueller Stand der Forschung bzgl. Mobilfunkstrahlung und Krebs ist widersprüchlich
- Einerseits
  - Nachweis für keinen Zusammenhang zw. Nutzung von Mobiltelefonen und Erkrankung an Gehirntumoren
- Andererseits
  - Beweis für Zusammenhang zw. Nutzung von Mobiltelefonen und Krebserkrankungen, im Genaueren, Gliomen

Moderator/in

- Vorstellung der Studienvertreter/innen der einzelnen Studien, des jeweiligen Studiendesigns und der Ergebnisse
  - Studie UK
  - Studie Dänemark
  - Studie Schweden
  - INTERPHONE Studie
  - Studie USA

Moderator/in

- Offene Diskussion mit der Einbringung verschiedener Infos seitens der SchülerInnen
- Als Lehrkraft darauf achten, dass
  - auf die Beiträge der anderen Bezug genommen wird
  - Fragen gestellt werden
  - jede/r zu Wort kommt
  - die verschiedenen Experten-Infos besprochen werden

Moderator/in

- Komitee
  - 5 Minuten Zeit um gesammelte Informationen untereinander zu besprechen
  - Pros (+) und Kontras (-) abwägen und zu einer Einigung oder einem Kompromiss gelangen
  - Vorstellung der Ergebnisse im Plenum

Vertreter/in der Studie UK

Diese Studie wurde im United Kingdom (UK) durchgeführt.

- Studiendesign:
  - Die Studie ist eine Kohortenstudie. Bei dieser Art von Studie werden zwei Gruppen beobachtet und ein möglicher Zusammenhang zu einer Erkrankung untersucht.
  - Eine Gruppe nutzte Mobiltelefone und eine andere ähnliche Gruppe (bezüglich Alter, Geschlecht und Herkunft) verwendete keine Handys. Anschließend wurde untersucht, wie viele Personen aus beiden Gruppen an Gehirntumoren erkranken.
- Die Studie ging insgesamt über einen Zeitraum von 7 Jahren (1999 bis 2009) und es wurden rund 800.000 Teilnehmerinnen beobachtet. Ein Teil der verwendeten Daten stammt von einer anderen Studie, wodurch bei dieser Studie ausschließlich Frauen teilnahmen.
- Während der Laufzeit der Studie wurde der Gebrauch von Mobiltelefonen analysiert. Die Teilnehmerinnen beantworteten unter anderem Fragen zur Häufigkeit der Verwendung und der Dauer des Handybesitzes.
- Diese Ergebnisse wurden anschließend in Zusammenhang zum gesundheitlichen Wohlbefinden der Probandinnen gebracht.
- Ergebnis:
  - Die Untersuchungen an den Frauen ergaben keine Parallelen zwischen den Gliom-Fällen und der Nutzung von Mobiltelefonen.
  - Auf Grund der Ergebnisse wurde die Mobiltelefonie-Nutzung somit nicht mit einem erhöhten Risiko für die Entstehung von Hirntumoren in Verbindung gebracht.

Vertreter/in der Studie Dänemark

Diese Studie wurde in Dänemark durchgeführt.

- Studiendesign:
  - Die Studie ist eine Kohortenstudie. Bei dieser Art von Studie werden zwei Gruppen beobachtet und ein möglicher Zusammenhang zu einer Erkrankung untersucht.
  - Es wurden die gesundheitlichen Daten aller Mobilfunknutzer in Dänemark erfasst. Diese Daten wurden anschließend mit den Daten einer anderen ähnlichen Gruppe (bezüglich Alter, Geschlecht und Herkunft), die keine Mobiltelefone nutzten, verglichen. Es folgte eine Untersuchung der Fälle von Gehirntumoren (Gliomen) in beiden Gruppen.
- Die Datenerhebung der Studie ging insgesamt über einen Zeitraum von 9 Jahren (1987 bis 1995), bis 2007 wurden die medizinischen Daten der TeilnehmerInnen weiter verfolgt. Es nahmen rund 360.000 Mobilfunknutzer teil.
- Die innerhalb der Gruppe der Mobilfunknutzer auftretenden Tumor-Fälle wurden mit der Kontrollgruppe verglichen. Die Anzahl der Krebserkrankungen in beiden Gruppen lieferte einen Rückschluss auf die Auswirkung von der Nutzung von Mobiltelefonen.
- Ergebnis:
  - Zwischen den beiden Gruppen – Handynutzer und Kontrollgruppe – wurde kein signifikanter Unterschied bezüglich der Erkrankung an Hirntumoren gefunden.
  - Obwohl frühere Handys höhere Strahlungsintensitäten emittierten, deuteten die Ergebnisse der Studie auf kein erhöhtes Risiko für die Erkrankung an Gliomen durch Mobiltelefon-Nutzung hin.

Vertreter/in der Studie Schweden

Diese Studie wurde in Schweden durchgeführt.

- Studiendesign:
  - Die Studie ist eine Fall-Kontroll Studie. Bei dieser Art von Studie wird eine Gruppe von Erkrankten mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen und anschließend auf mögliche Ursachen der Erkrankung geschlossen.
  - Es wurde dabei eine Gruppe von Hirntumor-PatientInnen mit gesunden Personen aus einer Kontrollgruppe (ähnlich bezüglich Alter, Geschlecht, Herkunft) verglichen. Anschließend wurde das Telefonierverhalten der TeilnehmerInnen beider Gruppen evaluiert.
- Die Studie lief insgesamt über 10 Jahre (1997 bis 2003, 2007 bis 2009) und es wurden knapp 1.500 Gliom-Fälle beobachtet. Die Dauer der Studie war notwendig, um genug Fälle zu erhalten.
- Die Evaluierung des Verhaltens bezüglich der Mobiltelefon-Nutzung der TeilnehmerInnen erfolgte durch Fragebögen und teilweise zusätzlichen Interviews.
- Die Ergebnisse der Befragungen beider Gruppen wurden ausgewertet und der Zusammenhang der Auswertungen zu den Erkrankungen untersucht.
- Ergebnis:
  - Die Auswertungen der Ergebnisse deuteten daraufhin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko an Gliomen zu erkranken verdoppelt.
  - Das größte Risiko fand man dabei für Gliomen im Temporallappen des Gehirns.

Vertreter/in der INTERPHONE-Studie

Die INTERPHONE Studie wurde in 13 Ländern durchgeführt. Diese Studie gilt als die bisher größte Fall-Kontroll Studie zu Gehirntumoren.

- Studiendesign
  - Die INTERPHONE Studie ist eine Fall-Kontroll Studie. Bei dieser Art von Studie wird eine Gruppe von Erkrankten mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen und anschließend auf mögliche Ursachen der Erkrankung geschlossen.
  - Dabei wurde eine Gruppe von PatientInnen mit Hirntumor (Gliom) mit einer ähnlichen Bevölkerungs-Gruppe (bezüglich Alter, Geschlecht, Herkunft) ohne Gehirntumor (Gliom) verglichen. Es wurde dabei besonderes Augenmerk auf den Gebrauch von Mobiltelefonen gelegt und deren Bezug zur Erkrankung analysiert.
- Die INTERPHONE Studie startete im Jahr 2000 und es nahmen über 5.100 PatientInnen, die an Gehirntumoren erkrankt waren, teil.
- Der Gebrauch von Mobiltelefonen wurde durch standardisiert durchgeführte Interviews ermittelt.
- Ein Ziel der Studie war die Untersuchung, ob Mobilfunkstrahlung das Risiko der Entstehung von Hirntumoren erhöht.
- Ergebnis:
  - Die Auswertung der Daten deutete auf kein erhöhtes Risiko für die Entstehung von Hirntumoren aufgrund der Nutzung von Handys hin.
  - Die Nutzung von Mobiltelefonen bei höchster Strahlungsintensität wies auf die Möglichkeit eines erhöhten Risikos für die Erkrankung an Hirntumoren hin.

Vertreter/in der Studie USA

Diese Studie wurde in den USA durchgeführt.

- Studiendesign:
  - Die Studie ist eine Längsschnittstudie. Bei dieser Art von Studie laufen die Untersuchungen über einen längeren Zeitraum, im Schnitt in etwa 15 Jahre und länger.
  - In die Untersuchung wurden verschiedene Faktoren miteinbezogen, im Großen und Ganzen wurde die Zahl der Gliom-Fälle in den USA beobachtet und mit Prognosen verglichen.
- Die Studie lief über einen Zeitraum von 17 Jahren (1992 bis 2008). Während dieser Zeit wurden die Daten von etwa 25.000 US-BürgerInnen gesammelt und ausgewertet.
- Dabei wurden die beobachteten Fälle mit den vorausgesagten Fällen verglichen. Dafür wurden die Daten der Studie aus Schweden, sowie der INTERPHONE Studie herangezogen und die prognostizierten Risiken dieser beiden Studien mit den aktuellen Hirntumor-Fällen in Vergleich gebracht.
- Es wurde somit die aktuelle Zahl an Tumor-Erkrankten in den USA untersucht mit den vorhergesagten Fällen an PatientInnen (der Studien Schweden und INTERPHONE) verglichen.
- Ergebnis:
  - Die Ergebnisse der schwedischen Studie, die auf ein erhöhtes Risiko für Krebs bei Mobilfunknutzung hinwiesen, stimmen nicht mit den beobachteten Gliom-Fällen in den USA überein.
  - Es wurde also ein großer Unterschied zwischen den vorhergesagten und dokumentierten Fällen beobachtet
  - Die Ergebnisse der INTERPHONE Studie, die auf kein erhöhtes Risiko hindeuten, stimmen mit den Ergebnissen der USA überein.

Lies dir die Informationen zur Studie durch und fasse die wichtigsten Aspekte (Studiendesign, Rahmenbedingungen, Ergebnisse) zusammen!

Komitee-Mitglied

PRO +	KONTRA -

Komitee-Mitglied

- Was denkst du über die Gefahren von Mobilfunkstrahlung? Schreibe deine Ideen auf!

- Formuliere mit den anderen Komitee-Mitgliedern Fragen für die Diskussionsrunde!

Lies dir die Informationen auf deinem Experten-Kärtchen durch und schreibe die besten drei Argumente auf!

Experten-Information

- Die Kosmische Hintergrundstrahlung aus dem Weltall liegt im Bereich der Mikrowellenstrahlung und erfüllt das ganze Universum. Sie ist die älteste Strahlung im Universum.
- Aus physikalischer Sicht ist Mikrowellenstrahlung Teil der nicht ionisierenden Strahlungsarten, wozu auch sichtbares Licht oder Infrarotstrahlung zählen.
- Ionisierende Strahlungsarten sind, unter anderem, UV-Strahlung, Röntgenstrahlung oder Gammastrahlung. Ionisierende Strahlung greift die DNA biologischer Zellen an und beschädigt sie, wodurch Tumore entstehen können.
  - Mikrowellenstrahlung ist nicht ionisierend und besitzt nicht genug Energie, um biologische Zellen dauerhaft zu verändern.
- Mikrowellenstrahlung wird von Metallen reflektiert. Wasser und wasserhaltige Substanzen absorbieren Mikrowellenstrahlung. Andere Materialien wie Glas, Keramik, Kunststoff und Karton transmittieren Mikrowellenstrahlung.

Experten-Information

- Aus biologischer Sicht treten durch Mobilfunkstrahlung Effekte auf, die den menschlichen Organismus beeinflussen. Dies heißt jedoch nicht unbedingt, dass diese Effekte eine Gefahr für den Menschen darstellen.
- Generell wird durch die Nutzung von Mobiltelefonen und der dadurch emittierten (emittieren = aussenden) Mobilfunkstrahlung ein erhöhtes Gesundheitsrisiko nicht ausgeschlossen.
- Jegliche durch Mobilfunkstrahlung ausgelösten negativen Auswirkungen auf den menschlichen Körper sind sehr schwer zu erforschen und zu beweisen.
- Positive Effekte von Mikrowellenstrahlung:
  - Kurzzeitige Einwirkung von Mikrowellenstrahlung kann kognitive Funktionen, die Aufmerksamkeit und die Kapazität des Kurzzeit-Gedächtnisses verbessern.
  - Das Risiko an Alzheimer zu erkranken ist bei Langzeit-Mobilfunk-Nutzern (Nutzung mehr als 10 Jahre) um 30-40% niedriger als bei anderen Personen.

Experten-Information

- Als Gliom wird eine bestimmte Art von Krebs bezeichnet, genauer gesagt Tumore, die sich häufig im Gehirn bilden (Hirntumore) und die in 80% der Fälle bösartig sind.
  - Hirntumore stellen etwa 2% aller Krebserkrankungen dar und gelten als vergleichsweise selten.
- Nach wie vor ist es unklar, wodurch Hirntumore genau entstehen.
  - In rund 5% der Fälle ist die Entstehung von Tumoren jedoch auf eine genetische Ursache zurückzuführen.
- Durchschnittliches Risiko an Gliomen zu erkranken
  - Durchschnittlich erkranken in etwa 3 bis 5 Menschen aus 100.000 an einem Hirntumor (Gliom), die Anzahl an Erkrankungen ist dabei abhängig von Ort und Herkunft.
  - Die Verdoppelung dieses Risikos würde bedeuten, dass, anstatt 3 bis 5, in etwa 6 bis 10 Menschen aus 100.000 Personen an Gliomen erkranken würden.
- Das Risiko an Krebs zu erkranken kann durch gewisse Substanzen, Strahlungen oder Stoffe erhöht werden.

Experten-Information

- Die Strahlungsintensität von Mobiltelefonen ist am größten, wenn bei schlechtem Empfang telefoniert wird, oder wenn ein Anruf getätigt bzw. angenommen wird.
- Schlechter Empfang
  - Die Intensität der Strahlung des Handys wird bei schlechtem Empfang gesteigert, um Kontakt zur Basisstation herzustellen zu können. Die Strahlungsintensität des Mobiltelefons erreicht dabei ein Maximum.
- Rufaufbau oder Rufeingang
  - Bei Rufaufbau oder –eingang wird die Intensität der Strahlung des Handys ebenso gesteigert, da Kontakt zur Basisstation hergestellt wird, um den Anruf weiterleiten zu können.
- Durch die erhöhte Strahlung, die vom Mobiltelefon ausgeht, wird das umliegende Gewebe stärker erwärmt.
- Einige Maßnahmen, die man treffen kann, um die Strahlungsintensität auf den Kopf/Körper zu verringern wären zum Beispiel:
  - Bei gutem Empfang telefonieren
  - Erst bei Gesprächsannahme das Handy zum Ohr halten
  - Mit Headset telefonieren

Experten-Information

- Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) erforscht mögliche Ursachen von Krebs
  - Die IARC erstellte dafür eine Liste von mehr als 1000 möglichen Karzinogenen.
  - Als Karzinogene bezeichnet man Substanzen, Strahlungen oder Stoffe, die zu Krebs führen können
  - Die Karzinogene wurden anhand ihrer krebserregenden Eigenschaften in fünf Gruppen eingeteilt.
- Gruppe 1: sicher krebserregend
  - Asbest, Arsen (Halbmetall), ionisierende Strahlung, Konsum von Tabak und alkoholischen Getränken, Verzehr von verarbeitetem Fleisch, …
- Gruppe 2A: wahrscheinlich krebserregend
  - Verzehr von rotem Fleisch, Infektion mit HPV oder Malaria, …
- Gruppe 2B: möglicherweise krebserregend
  - Chloroform (Narkosemittel), Benzin-Abgase, Mobilfunkstrahlung, …
- Gruppe 3: nicht als krebserregend klassifiziert
- Gruppe 4: wahrscheinlich nicht krebserregend

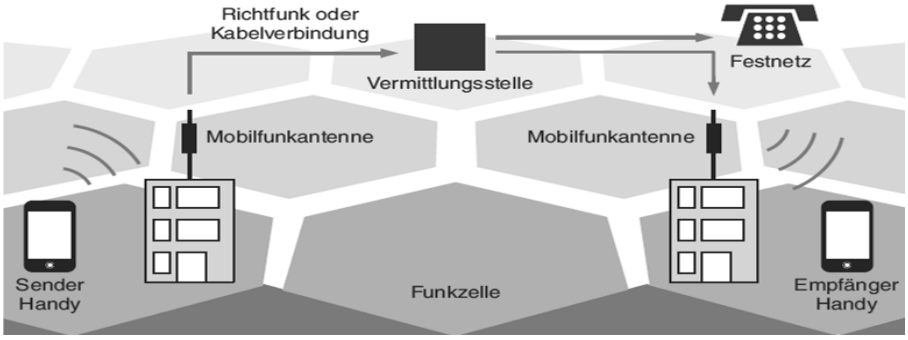
Mobilfunkstrahlung ist Teil der Gruppe 2B und somit für den Menschen möglicherweise krebserregend.

Experten-Information

- Spezifische Absorptionsrate (SAR)
  - Die spezifische Absorptionsrate gibt an, wie hoch der Anteil der absorbierten Strahlung im menschlichen Körper während der Nutzung eines Mobiltelefons ist.
- SAR-Wert
  - Bei Mobiltelefonen wird der sogenannte SAR-Wert angegeben. Dieser Wert liegt bei modernen Smartphones ungefähr zwischen 0,20 und 1,90 W/kg (Watt pro Kilogramm).
  - Dabei gilt: Je kleiner der Wert ist, desto geringer wird umliegendes Gewebe durch die Mobilfunkstrahlung erwärmt.
- Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt die Einhaltung von Grenzwerten.
- Der europaweit gültige Grenzwert für die spezifische Absorptionsrate (SAR) bei Mobiltelefonen ist:
  - 2,0 Watt pro Kilogramm
- Es wurde auch der maximale Temperaturanstiegs im Bereich des Gehirns bei einem SAR-Wert von 2,0 W/kg untersucht. Anhand der Ergebnisse wurde beschlossen, dass eine dauerhafte Schädigung des menschlichen Organismus bei SAR-Werten unter 2,0 W/kg äußerst unwahrscheinlich ist.

Experten-Information

- Die Funktionsweise unseres Mobilfunknetzes
  - Unterschiedliche (Funk-)Zellen sind über die jeweiligen Basisstationen (Mobilfunkantennen) mit der Vermittlungsstelle verbunden.
  - Bei Anrufen sendet das Handy zuerst ein Signal an die Mobilfunkantenne, die sich in der Funkzelle des jeweiligen Handys befindet. Dann wird dieses Signal über die Vermittlungsstelle zu der Mobilfunkantenne geleitet, die sich in der Funkzelle des Handys befindet, das angerufen wird.



- Basisstationen (Mobilfunkantennen)
  - Die Strahlungsbelastung ausgehend von Basisstationen ist sehr niedrig und allgemeine Untersuchungen bestätigen, dass ein erhöhtes Risiko für die Gesundheit unwahrscheinlich ist.

7.2 Erste Überarbeitung

7.2.1 Erste Unterrichtsstunde

- Arbeitsmappe
- Gestufte Lernhilfen

Name: _____ Klasse: _____

MIKROWELLENSTRAHLUNG

1. Elektromagnetische Strahlung – Was ist das genau?

Lies dir folgenden Text zu elektromagnetischer Strahlung durch:

Als **elektromagnetische Strahlung** bezeichnet man Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Man unterscheidet dabei verschiedene Arten von elektromagnetischer Strahlung. Die sichtbare Strahlung, auch „sichtbares Licht" genannt, ist dir sicher bekannt. Andere Strahlungsarten wie Mikrowellen-, Infrarot-, UV- und Röntgenstrahlung sind Teil der unsichtbaren Strahlung.

Die verschiedenen Formen der Strahlung teilt man auf Grund ihrer unterschiedlichen Wirkungen ein. Diese Einteilung erfolgt über das **elektromagnetische Spektrum** (siehe Abbildung).

Sichtbare Strahlung ist die einzige Strahlung, die wir Menschen mit unseren Augen wahrnehmen können.

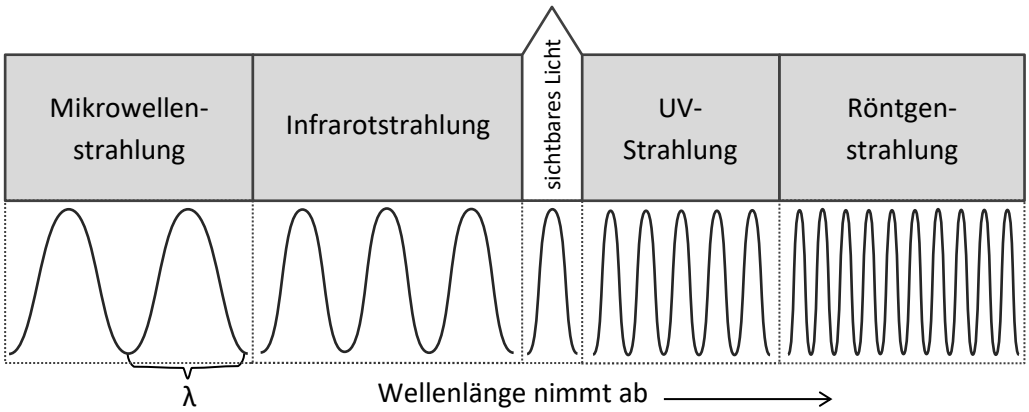
Unsichtbare Strahlung können wir nicht sehen, teilweise jedoch fühlen.

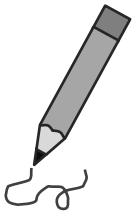
Die wärmende Wirkung der Infrarotstrahlung können wir mit unserer Haut spüren. Infrarotstrahlung wird von Gegenständen auf Grund ihrer Temperatur emittiert (emittieren = aussenden). Auch du emittierst Infrarotstrahlung!

Die physikalische Größe, anhand derer die verschiedenen Strahlungsarten unterschieden werden, ist die Wellenlänge λ („lambda"). Jede Art der elektromagnetischen Strahlung wird durch einen bestimmten Wellenlängenbereich definiert.

Heute wirst du einiges über **Mikrowellenstrahlung** erfahren. Die Wellenlängen von Mikrowellen liegen im Bereich von 1m bis 1mm. Mikrowellenstrahlung wird z.B. zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen, zur Kommunikation mit Handy oder WLAN und fürs Satellitenfernsehen eingesetzt.

Abbildung des elektromagnetischen Spektrums





Partnerarbeit:

Schreibe mit deiner Partnerin/deinem Partner drei Merksätze zum Text auf.

Folgende Wörter sollen dabei enthalten sein: ***Strahlung****,* ***elektromagnetisches Spektrum****,* ***Wellenlänge*** *und* ***Mikrowellenstrahlung****.*

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Strahlung	Elektromagnetisches Spektrum	Wellenlänge	Mikrowellenstrahlung

2. Experimentieren mit Mikrowellen

Gemeinsam mit deiner Forschungsgruppe führst du drei Experimente zu Mikrowellenstrahlung durch. Die dafür benötigten Materialien findest du an den jeweiligen Forschungsstationen. Beachte die Infokästchen mit hilfreichen Tipps!

Forschungsstation 1 – Wellenlänge

Forschungsstation 2 – Mobilfunkstrahlung

Forschungsstation 3 – Mikrowellenstrahlung

Forschungsstation 1 – Wellenlänge

Wie du aus dem Text zu elektromagnetischer Strahlung weißt, wird Mikrowellenstrahlung zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen eingesetzt. Die erzeugten Mikrowellen besitzen eine bestimmte **Wellenlänge λ**, die du ermitteln wirst.

Material:	Mikrowellenofen, Schokolade, Teller, Stoppuhr, Lineal
Anleitung:	Packe die Schokolade aus der Folie aus und lege sie in die Mitte des Tellers. Achte dabei darauf, dass du die Schoko mit der glatten Seite nach oben platzierst. Platziere den Teller im hinteren Bereich des Mikrowellenofens und schalte diesen bei 600 W für 45 Sekunden ein. Miss die Zeit mit einer Stoppuhr! Nimm den Teller aus dem Mikrowellenofen – Achtung heiß! – und miss mit dem Lineal den Abstand zwischen den geschmolzenen Bereichen („Hot Spots“) auf der Schokolade. Notiere dir den Wert.

Gemessener Wert: _____ cm

Überlege wie du aus deiner Messung die Wellenlänge der Mikrowellen ermitteln kannst und schreibe den Wert der Wellenlänge λ auf:

_____

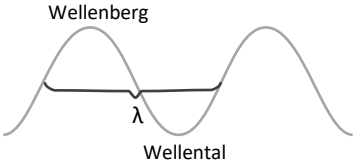
_____

_____

Wert der Wellenlänge λ: _____ cm

Zusatz-Info:

Die sogenannten „Hot Spots“ treten an Wellenbergen und -tälern auf. Dort ist die Schwingung der Mikrowelle und somit die Energie am größten. Der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“ ist als die halbe Wellenlänge $\lambda/2$ definiert.



Forschungsstation 2 – Mobilfunkstrahlung

Mikrowellenstrahlung kann, wie jede Art von elektromagnetischer Strahlung, durch gewisse Materialien abgeschirmt werden. Im folgenden Versuch wirst du mit deinem Forschungsteam ermitteln, wie sich Mikrowellenstrahlung in Verbindung mit unterschiedlichen Materialien verhält.

Material:	Zwei Handys bzw. Smartphones, Box aus Kunststoff, Kartonschachtel, Alufolie, Zwei Keramik-Töpfe, Silbergitter-Stoff, Edelstahlgewebe
Anleitung:	Teste alle Materialien auf ihre Eigenschaften bei Interaktion mit Mobilfunk-strahlung. Achte dabei darauf, dass jedes Material einzeln getestet wird und gehe Schritt für Schritt vor. Ein Handy musst du dafür vollständig mit dem jeweiligen Material umgeben. Achte dabei darauf, dass das Handy von allen Seiten mit Material bedeckt ist! Anschließend rufst du es mit dem anderen Handy an. Teste zuerst die Box aus Kunststoff, dann die Kartonschachtel, dann die Alufolie, die Keramik-Töpfe, den Silbergitter-Stoff und zuletzt das Edelstahlgewebe. Notiere deine Beobachtungen zu allen Materialien und überlege dir eine Erklärung!

Was konntest du beobachten?

Kunststoff:	
Karton:	
Alufolie:	
Keramik:	
Silbergitter-Stoff:	
Edelstahlgewebe:	

Zusatz-Info:

Die emittierte Mikrowellenstrahlung von Mobiltelefonen, nennt man **Mobilfunkstrahlung**. Handys kommunizieren über Mikrowellen. Also wird bei abgehenden und einkommenden Anrufen Mikrowellenstrahlung emittiert.

Wie kannst du dir deine Beobachtungen erklären?

Welcher Zusammenhang besteht zwischen deinen Beobachtungen und den unterschiedlichen Materialien?

Forschungsstation 3 – Mikrowellenstrahlung

Der Mikrowellenofen wird im Alltag genutzt, um Lebensmittel zu erwärmen. Durch ein elektrisches Bauteil – ein Magnetron – werden Mikrowellen erzeugt, die sich im Innenraum ausbreiten. Mit deinem Forschungsteam führst du folgenden Versuch zu den Eigenschaften von Mikrowellenstrahlung durch.

Material:	Mikrowellenofen, Zwei Gläser, Wasser, Alufolie, Thermometer, Stoppuhr
Anleitung:	Fülle beide Gläser halb mit Wasser und miss die Anfangstemperaturen. Notiere dir die Werte. Umhülle ein Glas vollständig mit Alufolie. Achte darauf, dass keine Kanten entstehen und die Oberfläche glatt bleibt. Drücke dafür die Alufolie so dicht wie möglich an das Glas. Stelle beide Gläser für 45 Sekunden bei höchster Stufe in den Mikrowellenofen. Stoppe die Zeit. Miss die Endtemperaturen des Wassers beider Gläser erneut und notiere dir die Werte.

Wassertemperatur	Wasser in Glas ohne Alufolie	Wasser in Glas mit Alufolie
Anfangstemperatur	°C	°C
Endtemperatur	°C	°C

Versuche gemeinsam mit deinem Forschungsteam eine Begründung für den Ausgang des Experiments zu formulieren:

Zusatz-Info:

Gewisse Stoffe **transmittieren** Mikrowellenstrahlung. Sie lassen Strahlung ungehindert durch. Andere Stoffe **absorbieren** Mikrowellenstrahlung. Dabei wird Strahlungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt. Eine weitere Stoffgruppe **reflektiert** Mikrowellenstrahlung, das Eindringen der Strahlung wird verhindert und sie wird zusätzlich reflektiert. Dabei gilt das Reflexionsgesetz: Der Einfallswinkel α ist gleich dem Ausfallswinkel β.

Zusatzaufgabe

Berechne die Wellenlänge λ der Mikrowellen des Mikrowellenofens, bevor du sie an der Forschungsstation 1 in einem Experiment ermittelst!

Warst du schon bei dieser Forschungsstation, dann überprüfe dein Ergebnis für die Wellenlänge λ der Mikrowellen des Mikrowellenofens!

Auf der Rückseite des Mikrowellenofens steht die Frequenz *f*. Notiere dir den Wert.

Wert der Frequenz *f*: _____ Hz

Die Frequenz *f*, die Ausbreitungsgeschwindigkeit *c* und die Wellenlänge *λ* werden durch diese **Formel** beschrieben: $\boldsymbol{f = \frac{c}{\lambda}}$

Forme die Gleichung um und berechne die Wellenlänge λ:

_____

_____

_____

_____

Berechneter Wert der Wellenlänge *λ*: _____ cm

Gemessener Wert der Wellenlänge *λ:* _____ cm

Sind die beiden Werte für *λ* gleich? Falls nicht, was könnte der Grund dafür sein?

_____

_____

_____

Zusatz-Info:

Die Frequenz *f* ist eine physikalische Größe und gibt die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit an. Die Einheit ist Hertz (Hz).

Die Lichtgeschwindigkeit *c* beträgt 300.000.000 m/s.

Tipp Nr. 1

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Unterstreiche mit deiner Partnerin/deinem Partner die Abschnitte im Text zu elektromagnetischer Strahlung, die ihr als besonders wichtig erachtet!

Tipp Nr. 2

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Überprüfe, ob in den unterstrichenen Passagen folgende Wörter vorkommen: Strahlung, elektromagnetisches Spektrum, Wellenlänge und Mikrowellenstrahlung.

Tipp Nr. 3

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Versucht mit Hilfe der unterstrichenen Abschnitte aus dem Text und den Wörtern auf Seite 2 drei Sätze zu bilden. Sind darin alle wichtigen Informationen enthalten?

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 1 –Experiment und Wellenlänge:

Um den Abstand zwischen den geschmolzenen Bereichen zu messen, miss mit einem Lineal von einer geschmolzenen Stelle zu einer anderen geschmolzenen Stelle und notiere dir den Wert. Es macht nichts, wenn die „Hot Spots“ nicht gleich groß sind.

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 1 –Experiment und Wellenlänge:

Der von dir und deiner Forschungsgruppe gemessene Wert, also der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“, sollte zwischen 6 cm und 7 cm liegen.

Lies dir mit deinem Forschungsteam die Tipps aus dem Zusatz-Info Kästchen durch!

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 1 –Experiment und Wellenlänge:

Die „Hot Spots“ sind sehr heiße Stellen, die an Wellenbergen und Wellentälern auftreten. Du hast den Abstand zwischen diesen Stellen auf der Schokolade gemessen und dieser Wert ist die Hälfte der Wellenlänge λ.

Tipp Nr. 1

Zusatzaufgabe – Berechnung Wellenlänge:

Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des Zusatz-Info Kästchens durch. Kontrolliere, ob der Wert der Frequenz f korrekt vom Mikrowellenofen notiert ist.

Könnt ihr mit diesen Informationen den Wert der Wellenlänge λ berechnen?

Tipp Nr. 2

Zusatzaufgabe – Berechnung Wellenlänge:

Schreibe dir die Werte für f und c auf und setze die Werte in die Formel ein. Forme die Gleichung um und berechne: $\lambda = \frac{c}{f}$

Achte bei deinem Ergebnis auf die korrekte Einheit! Gib λ in cm und nicht in m an.

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 1 – Berechnung Wellenlänge:

Das Ergebnis für die Berechnung der Wellenlänge λ ist 0,1224 m bzw. 12,24 cm.

Messungen sind, im Vergleich zu Berechnungen, in der Regel etwas ungenauer. Die Ergebnisse aus der Messung und der Berechnung der Wellenlänge λ sind deshalb nicht gleich.

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 2 – Experiment und Beobachtungen:

Leg ein Handy in die Kunststoff-Box, verschließe die Box und rufe es mit dem anderen Handy an. Mach dann dasselbe mit der Kartonschachtel. Danach umwickelst du ein Handy vollständig mit Alufolie und rufst es wieder mit dem anderen an. Wickle es aus und lege es in den Topf und stelle den anderen kopfüber darauf. Rufe es mit dem anderen Handy an. Teste zuletzt den Silbergitter-Stoff und dann das Edelstahlgewebe. Auch hier umwickelst du das eine Handy und rufst es mit dem anderen an.

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 2 – Experiment und Beobachtungen:

Notiere in die zugehörigen Kästchen, was du bei den Versuchen beobachten konntest.

Mögliche Beobachtungen: Es funktioniert und Mobilfunkstrahlung wird durchgelassen (transmittiert), oder es funktioniert nicht und Mobilfunkstrahlung wird abgeschirmt (reflektiert).

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 2 – Experiment und Beobachtungen:

Erklärung der Beobachtungen:

Mobilfunkstrahlung wird bei Interaktion mit Karton, Kunststoff und Keramik transmittiert.

Mobilfunkstrahlung wird bei Interaktion mit Alufolie, Silbergitter-Stoff und Edelstahlgewebe (i.A. Metallen) reflektiert.

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 3 – Experiment:

Notiert euch die Werte der Anfangs-temperaturen des Wassers von beiden Gläsern! Umwickle erst nach Notieren der Wassertemperatur das eine Glas mit Alufolie.

Achte darauf, dass das Glas vollständig umwickelt ist und die Alufolie eng am Glas anliegt und keine Kanten entstehen.

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 3 – Experiment:

Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des Zusatz-Info Kästchens durch.

Könnt ihr mit diesen Informationen den Ausgang des Versuchs erklären?

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 3 – Experiment:

Erklärung des Versuchs:

Glas transmittiert Mikrowellenstrahlung.

Wasser absorbiert Mikrowellenstrahlung.

Alufolie reflektiert Mikrowellenstrahlung.

7.2.2 Zweite Unterrichtsstunde

- Moderation
- Studienvertreterinnen und -vertreter
- Komitee
- Expertinnen und Experten

Moderator/in

Thema der Diskussion:

- „Mobilfunkstrahlung – Gefahr oder Nutzen“
- Diskussionsrunde mit
  - VertreterInnen verschiedener Studien
  - ExpertInnen
  - Komitee-Mitgliedern
- Die StudienvertreterInnen stellen die unterschiedlichen Studien vor.
- Die ExpertInnen präsentieren wichtige Zusatzinformationen.
- Das Komitee sammelt während der Diskussion Informationen, kategorisiert sie, stellt Fragen und fällt am Ende ein Urteil.
- Ziel der Debatte:
  - Einigung oder Kompromiss
- Einteilung der SchülerInnen in die unterschiedlichen Gruppen
  - StudienvertreterInnen (5 bzw. 10), ExpertInnen (7), Komitee-MitgliederInnen (3 bzw. 5)

Moderator/in

- Gesprächsregeln auffrischen
  - Wertschätzender Umgang miteinander
  - Einander ausreden lassen
  - Aktiv zuhören und Bezug zu bereits Erwähntem herstellen
- 10 Minuten Zeit, um die Info-Kärtchen zu lesen, die Fragen zu beantworten und Argumente auszuarbeiten
  - Komitee-Mitglieder sollen Vermutungen aufstellen und gemeinsam Fragen formulieren

Einleitende Worte zur Diskussion:

- Der aktuelle Stand der Forschung bzgl. Mobilfunkstrahlung und Krebs ist widersprüchlich:
  - Einerseits gibt es Nachweise, dass kein Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und der Erkrankung an Gehirntumoren besteht.
  - Andererseits liegen Beweis für einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und Hirntumor-Erkrankungen vor.
- Beginn der Diskussion mit der Vorstellung der Studien (der Reihe nach), nach jeder Studie werden Fragen an die ExpertInnen gestellt.

Moderator/in

- 1. Studie UK
  - Frage an die ExpertInnen: Was sind sogenannte Gliome?
- 2. Studie Dänemark
  - Frage an die ExpertInnen: Gibt es Informationen zur Strahlungsintensität von Mobiltelefonen?
  - Frage an die ExpertInnen: Weiß jemand wie das Mobilfunknetz funktioniert? (Stichwort: Basisstationen)
- 3. Studie Schweden
  - Frage an die ExpertInnen: Wie hoch ist das Risiko an Hirntumoren zu erkranken? (Falls schon erwähnt, nochmal darauf hinweisen, besonders was die Verdoppelung des Risikos bedeutet)
  - Frage an die ExpertInnen: Was können weitere mögliche Ursachen von Krebs sein? Wodurch kann das Risiko an Krebs zu erkranken noch erhöht werden? (Stichwort: Karzinogene)
- 4. INTERPHONE Studie
  - Frage an die ExpertInnen: Woher wissen wir, wie viel Mobilfunk-Strahlung vom menschlichen Körper absorbiert wird? (Stichwort: SAR-Wert)
- 5. Studie USA
  - Frage an die ExpertInnen: Wie können diese Ergebnisse aus biologischer Sicht erklärt werden?

Moderator/in

- Fragen an die ExpertInnen:
  - Gibt es noch weitere Experten-Informationen zu Gefahren oder Nutzen von Mobilfunkstrahlung?
  - Wurde etwas noch nicht erwähnt?
- Komitee-Mitglieder bitten, ihre zu Beginn ausgearbeiteten Fragen an die StudienvertreterInnen bzw. ExpertInnen zu stellen
- Beratungsphase:
  - Komitee hat 5 Minuten Zeit, um die gesammelten Informationen untereinander zu besprechen, Pros (+) und Kontras (-) abzuwägen und zu einer Einigung oder einem Kompromiss zu gelangen
- Währenddessen offene Fragen mit den SchülerInnen besprechen
- Im Plenum
  - kurze Vorstellung der Entscheidung der Komitee-Mitglieder

Vertreter/in der Studie UK

Diese Studie wurde im United Kingdom (UK) durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie werden zwei Gruppen beobachtet und ein möglicher Zusammenhang zu einer Erkrankung untersucht. Man nennt Studien dieser Art „Kohortenstudien“.
  - Eine Gruppe nutzte Mobiltelefone und eine andere ähnliche Gruppe (bezüglich Alter, Geschlecht und Herkunft) verwendete keine Handys. Anschließend wurde untersucht, wie viele Personen aus beiden Gruppen an Gehirntumoren erkrankten.
- Die Studie ging insgesamt über einen Zeitraum von 7 Jahren (1999 bis 2009) und es nahmen dabei rund 800.000 Frauen teil. Ein Teil der verwendeten Daten stammt von einer anderen Studie, der „Million-Women-Study“, weshalb nur Frauen analysiert wurden.
- Während der Laufzeit der Studie wurde der Gebrauch von Mobiltelefonen analysiert. Die Teilnehmerinnen beantworteten unter anderem Fragen zur Häufigkeit der Verwendung und der Dauer des Handybesitzes.
- Diese Ergebnisse wurden anschließend in Zusammenhang zum gesundheitlichen Wohlbefinden der Teilnehmerinnen gebracht.
- Ergebnis:
  - Die Untersuchungen an den Frauen ergaben keinen Zusammenhang zwischen der Erkrankung an Gliomen und der Nutzung von Mobiltelefonen.
  - Auf Grund der Ergebnisse wurde die Mobiltelefonie-Nutzung somit nicht mit einem erhöhten Risiko für die Entstehung von Hirntumoren in Verbindung gebracht.

Vertreter/in der Studie Dänemark

Diese Studie wurde in Dänemark durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie werden zwei Gruppen beobachtet und ein möglicher Zusammenhang zu einer Erkrankung untersucht. Man nennt Studien dieser Art „Kohortenstudien“.
  - Es wurden die gesundheitlichen Daten aller MobilfunknutzerInnen in Dänemark erfasst. Die Daten der MobilfunknutzerInnen wurden anschließend mit den Daten einer anderen Gruppe verglichen, die keine Mobiltelefone nutzte und bezüglich Alter, Geschlecht und Herkunft der Gruppe der MobilfunknutzerInnen ähnlich war. Anschließend wurde untersucht, wie viele Personen aus beiden Gruppen an Gehirntumoren (Gliomen) erkrankten.
- Die Studie ging insgesamt über einen Zeitraum von 9 Jahren (1987 bis 1995) und bis 2007 wurden die medizinischen Daten der TeilnehmerInnen weiter verfolgt. Es nahmen rund 360.000 MobilfunknutzerInnen teil.
- Die Anzahl der Tumorerkrankungen in der Gruppe der MobilfunknutzerInnen wurde mit der anderen Gruppe (auch Kontrollgruppe genannt) verglichen. Durch die Anzahl der Krebserkrankungen in beiden Gruppen konnte ein möglicher Zusammenhang zur Nutzung von Mobiltelefonen analysiert werden.
- Ergebnis:
  - Zwischen den beiden Gruppen – Handynutzer und Gruppe, die keine Handys nutzt– wurde kein großer Unterschied bezüglich der Erkrankung an Hirntumoren gefunden.
  - Obwohl frühere Handys höhere Strahlungsintensitäten emittierten (emittieren = aussenden), deuteten die Ergebnisse der Studie auf kein erhöhtes Risiko für die Erkrankung an Gliomen durch Mobiltelefon-Nutzung hin.

Vertreter/in der Studie Schweden

Diese Studie wurde in Schweden durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie wird eine Gruppe von Erkrankten mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen und anschließend auf mögliche Ursachen der Erkrankung geschlossen. Man nennt Studien dieser Art „Fall-Kontroll Studien“.
  - Es wurde dabei eine Gruppe von Hirntumor-PatientInnen mit gesunden Personen aus einer Kontrollgruppe (ähnlich bezüglich Alter, Geschlecht, Herkunft) verglichen. Anschließend wurde analysiert, wie lange und wie oft die TeilnehmerInnen von beiden Gruppen mit dem Handy telefonierten.
- Die Studie lief insgesamt über 10 Jahre (1997 bis 2003, 2007 bis 2009) und es wurden knapp 1.500 Gliom-PatientInnen beobachtet. Die Dauer von 10 Jahren war notwendig, um die große Zahl an PatientInnen mit Gehirntumoren zu erhalten.
- Es wurde das Verhalten der TeilnehmerInnen bei der Nutzung von Mobiltelefonen (speziell die Häufigkeit und Dauer der Verwendung) durch Fragebögen und teilweise zusätzlichen Interviews untersucht.
- Anschließend wurden die Ergebnisse beider Gruppen ausgewertet und ein möglicher Zusammenhang zu den Hirntumor-Erkrankungen untersucht.
- Ergebnis:
  - Die Untersuchungen deuteten darauf hin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko an Gliomen zu erkranken verdoppelt.
  - Das größte Risiko fand man dabei für Gliomen im Temporallappen des Gehirns.

Vertreter/in der INTERPHONE-Studie

Die INTERPHONE Studie wurde in 13 Ländern durchgeführt. Diese Studie gilt als die bisher größte „Fall-Kontroll Studie“ zu Gehirntumoren.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie wird eine Gruppe von Erkrankten mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen und anschließend auf mögliche Ursachen der Erkrankung geschlossen. Studien dieser Art nennt man „Fall-Kontroll Studien“.
  - Dabei wurde eine Gruppe von PatientInnen mit Hirntumor (Gliom) mit einer ähnlichen Bevölkerungs-Gruppe (bezüglich Alter, Geschlecht, Herkunft) ohne Hirntumor (Gliom) verglichen. Es wurde dabei besonderes auf den Gebrauch von Mobiltelefonen geachtet und deren Bezug zur Erkrankung analysiert.
- Die INTERPHONE Studie dauerte 5 Jahre (2000-2004) und es nahmen über 5.100 PatientInnen mit Gehirntumoren teil.
- Der Gebrauch von Mobiltelefonen wurde durch standardisiert durchgeführte Interviews ermittelt.
- Ein Ziel der Studie war die Untersuchung, ob Mobilfunkstrahlung das Risiko der Entstehung von Hirntumoren erhöht.
- Ergebnis:
  - Die Auswertung der Daten deutete auf kein erhöhtes Risiko für die Entstehung von Hirntumoren aufgrund der Nutzung von Mobiltelefonen hin.
  - Die Nutzung von Mobiltelefonen bei höchster Strahlungsintensität wies auf die Möglichkeit eines erhöhten Risikos für die Erkrankung an Hirntumoren hin.

Vertreter/in der Studie USA

Diese Studie wurde in den USA durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie laufen die Untersuchungen über einen längeren Zeitraum, im Schnitt in etwa 15 Jahre und länger. Man nennt Studien dieser Art „Längsschnittstudien“.
  - In die Untersuchung wurden verschiedene Faktoren (z.B. Ergebnisse anderer Studien) miteinbezogen und im Großen und Ganzen wurde die Zahl der Gliom-Fälle in den USA beobachtet und mit Voraussagen verglichen.
- Die Studie lief über einen Zeitraum von 17 Jahren (1992 bis 2008). Während dieser Zeit wurden die Daten von etwa 25.000 US-BürgerInnen gesammelt und ausgewertet.
- Dabei wurden die beobachteten Fälle mit den vorausgesagten Fällen verglichen. Dafür wurden die Daten der Studie aus Schweden, sowie der INTERPHONE Studie herangezogen und die vorausgesagten Risiken dieser beiden Studien mit den tatsächlichen Hirntumor-Fällen in Vergleich gebracht.
- Es wurde somit die aktuelle Zahl an Tumor-Erkrankten in den USA untersucht und mit den vorhergesagten Fällen an PatientInnen (der Studien Schweden und INTERPHONE) verglichen.
- Ergebnis:
  - Die Ergebnisse der schwedischen Studie, die auf ein erhöhtes Risiko für Krebs bei Mobilfunknutzung hinwiesen, stimmen nicht mit den beobachteten Gliom-Patientinnen in den USA überein.
  - Es wurde also ein großer Unterschied zwischen den vorhergesagten und dokumentierten Krankheitsfällen beobachtet.
  - Die Ergebnisse der INTERPHONE Studie, die auf kein erhöhtes Risiko hindeuten, stimmen mit den Ergebnissen der USA überein.

Lies dir die Informationen zur Studie durch und fasse die wichtigsten Aspekte zusammen (Art der Studie, Dauer, sonstige Infos, Ergebnisse)!

Komitee-Mitglied

PRO Mobilfunkstrahlung +	KONTRA Mobilfunkstrahlung -

Komitee-Mitglied

- Was denkst du über die Gefahren von Mobilfunkstrahlung? Schreibe zwei Ideen auf!

- Formuliere mit den anderen Komitee-Mitgliedern drei Fragen für die Diskussionsrunde!

Lies dir die Informationen auf deinem Experten-Kärtchen durch und schreibe die besten drei Argumente (wichtige Aussagen) auf!

Experten-Information

- Die Kosmische Hintergrundstrahlung aus dem Weltall liegt im Bereich der Mikrowellenstrahlung und erfüllt das ganze Universum. Sie ist die älteste Strahlung im Universum.
- Mobilfunkstrahlung ist Teil der Mikrowellenstrahlung. Und Mikrowellenstrahlung ist aus physikalischer Sicht Teil der nicht ionisierenden Strahlungsarten.
  - Andere nicht ionisierende Strahlungsarten sind z.B. sichtbares Licht oder Infrarotstrahlung.
- Ionisierende Strahlungsarten sind z.B. UV-Strahlung, Röntgenstrahlung oder Gammastrahlung.
  - Ionisierende Strahlung greift die DNA biologischer Zellen an und beschädigt sie, wodurch Tumore entstehen können.
  - Mikrowellenstrahlung ist nicht ionisierend und besitzt nicht genug Energie, um biologische Zellen dauerhaft zu verändern.
- Eigenschaften von Mikrowellenstrahlung:
  - Mikrowellenstrahlung wird von Metallen reflektiert. Wasser und wasserhaltige Substanzen absorbieren Mikrowellenstrahlung, dabei wird die Strahlungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt. Andere Materialien wie Glas, Keramik, Kunststoff und Karton transmittieren (=durchlassen) Mikrowellenstrahlung.

Experten-Information

- Aus biologischer Sicht treten durch Mobilfunkstrahlung Effekte auf, die den menschlichen Organismus beeinflussen. Dies heißt jedoch nicht unbedingt, dass diese Effekte eine Gefahr für den Menschen darstellen.
- Generell wird durch die Nutzung von Mobiltelefonen und der dadurch emittierten (emittieren = aussenden) Mobilfunkstrahlung ein erhöhtes Gesundheitsrisiko nicht ausgeschlossen.
- Jegliche durch Mobilfunkstrahlung ausgelösten negativen Auswirkungen auf den menschlichen Körper sind sehr schwer zu erforschen und zu beweisen.
- Positive Effekte von Mikrowellenstrahlung:
  - Kurzzeitige Einwirkung von Mikrowellenstrahlung kann kognitive Funktionen, die Aufmerksamkeit und die Kapazität des Kurzzeit-Gedächtnisses verbessern.
  - Das Risiko an Alzheimer zu erkranken ist bei Langzeit-Mobilfunk-Nutzern (Nutzung mehr als 10 Jahre) um 30-40% niedriger als bei anderen Personen.

Experten-Information

- Als Gliom wird eine bestimmte Art von Krebs bezeichnet, genauer gesagt Tumore, die sich häufig im Gehirn bilden (Hirntumore) und die in 80% der Fälle bösartig sind.
  - Hirntumore stellen etwa 2% aller Krebserkrankungen dar und gelten als vergleichsweise selten.
- Nach wie vor ist es unklar, wodurch Hirntumore genau entstehen.
  - In rund 5% der Fälle ist die Entstehung von Tumoren jedoch auf eine genetische Ursache zurückzuführen.
- Durchschnittliches Risiko an Gliomen zu erkranken
  - Durchschnittlich erkranken in etwa 3 bis 5 Menschen aus 100.000 an einem Hirntumor (Gliom), die Anzahl an Erkrankungen ist dabei abhängig von Ort und Herkunft.
  - Die Verdoppelung dieses Risikos würde bedeuten, dass anstatt 3 bis 5, in etwa 6 bis 10 Menschen aus 100.000 Personen an Gliomen erkranken würden.
- Das Risiko an Krebs zu erkranken kann durch gewisse Substanzen, Strahlungen oder Stoffe erhöht werden.

Experten-Information

- Die Strahlungsintensität von Mobiltelefonen ist am größten, wenn bei schlechtem Empfang telefoniert wird, oder wenn ein Anruf getätigt bzw. angenommen wird.
- Schlechter Empfang
  - Die Intensität der Strahlung des Handys wird bei schlechtem Empfang gesteigert, um Kontakt zur Basisstation herzustellen zu können. Die Strahlungsintensität des Mobiltelefons erreicht dabei ein Maximum.
- Rufaufbau oder Rufeingang
  - Bei Rufaufbau oder -eingang wird die Intensität der Strahlung des Handys ebenso gesteigert, da Kontakt zur Basisstation hergestellt werden muss, um den Anruf weiterleiten zu können.
- Durch die erhöhte Strahlung, die vom Mobiltelefon ausgeht, wird das umliegende Gewebe stärker erwärmt.
- Einige Maßnahmen, die man treffen kann, um die Strahlungsintensität auf den Kopf/Körper zu verringern wären zum Beispiel:
  - Bei gutem Empfang telefonieren
  - Erst bei Gesprächsannahme das Handy zum Ohr halten
  - Mit Headset telefonieren

Experten-Information

- Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) erforscht mögliche Ursachen von Krebs
  - Die IARC erstellte dafür eine Liste von mehr als 1000 möglichen Karzinogenen.
  - Als Karzinogene bezeichnet man Substanzen, Strahlungen oder Stoffe, die zu Krebs führen können
  - Die Karzinogene wurden anhand ihrer krebserregenden Eigenschaften in fünf Gruppen eingeteilt.
- Gruppe 1: sicher krebserregend
  - Asbest, Arsen (Halbmetall), ionisierende Strahlung, Konsum von Tabak und alkoholischen Getränken, Verzehr von verarbeitetem Fleisch, …
- Gruppe 2A: wahrscheinlich krebserregend
  - Verzehr von rotem Fleisch, Infektion mit HPV oder Malaria, …
- Gruppe 2B: möglicherweise krebserregend
  - Chloroform (Narkosemittel), Benzin-Abgase, Mobilfunkstrahlung, …
- Gruppe 3: nicht als krebserregend klassifiziert
- Gruppe 4: wahrscheinlich nicht krebserregend

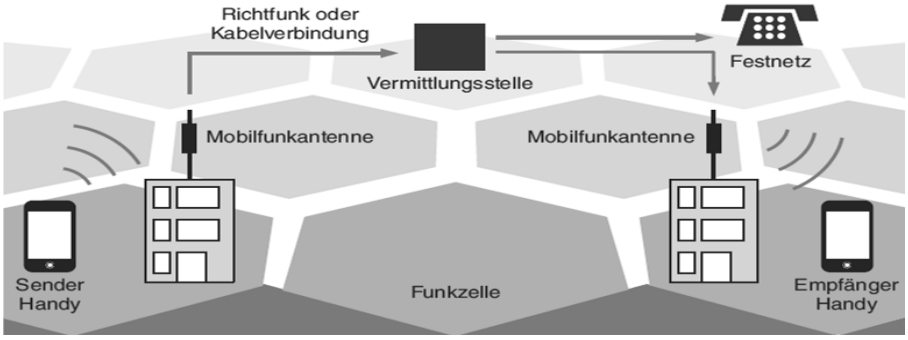
Mobilfunkstrahlung ist Teil der Gruppe 2B und somit für den Menschen möglicherweise krebserregend.

Experten-Information

- Spezifische Absorptionsrate (SAR)
  - Die spezifische Absorptionsrate gibt an, wie hoch der Anteil der absorbierten Strahlung im menschlichen Körper während der Nutzung eines Mobiltelefons ist.
- SAR-Wert
  - Bei Mobiltelefonen wird der sogenannte SAR-Wert angegeben. Dieser Wert liegt bei modernen Smartphones ungefähr zwischen 0,20 und 1,90 W/kg (Watt pro Kilogramm).
  - Dabei gilt: Je kleiner der Wert ist, desto geringer wird umliegendes Gewebe durch die Mobilfunkstrahlung erwärmt.
- Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt die Einhaltung von Grenzwerten.
- Der europaweit gültige Grenzwert für die spezifische Absorptionsrate (SAR) bei Mobiltelefonen ist:
  - 2,0 Watt pro Kilogramm
- Es wurde auch der maximale Temperaturanstiegs im Bereich des Gehirns bei einem SAR-Wert von 2,0 W/kg untersucht. Anhand der Ergebnisse wurde beschlossen, dass eine dauerhafte Schädigung des menschlichen Organismus bei SAR-Werten unter 2,0 W/kg äußerst unwahrscheinlich ist.

Experten-Information

- Die Funktionsweise unseres Mobilfunknetzes
  - Unterschiedliche (Funk-)Zellen sind über die jeweiligen Basisstationen (Mobilfunkantennen) mit der Vermittlungsstelle verbunden.
  - Bei Anrufen sendet das Handy zuerst ein Signal an die Mobilfunkantenne, die sich in der Funkzelle des jeweiligen Handys befindet. Dann wird dieses Signal über die Vermittlungsstelle zu der Mobilfunkantenne geleitet, die sich in der Funkzelle des Handys befindet, das angerufen wird.



- Basisstationen (Mobilfunkantennen)
  - Die Strahlungsbelastung ausgehend von Basisstationen ist sehr niedrig und allgemeine Untersuchungen bestätigen, dass ein erhöhtes Risiko für die Gesundheit unwahrscheinlich ist.

7.3 Zweite Überarbeitung

7.3.1 Erste Unterrichtsstunde

- Arbeitsmappe
- Gestufte Lernhilfen
- Kuverts zu den gestuften Lernhilfen

Name: _____ Klasse: _____

MIKROWELLENSTRAHLUNG

1. Elektromagnetische Strahlung – Was ist das genau?

Lies dir folgenden Text zu elektromagnetischer Strahlung durch:

Als **elektromagnetische Strahlung** bezeichnet man Wellen, die sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Man unterscheidet dabei verschiedene Arten von elektromagnetischer Strahlung. Die sichtbare Strahlung, auch „sichtbares Licht" genannt, ist dir sicher bekannt. Andere Strahlungsarten wie Mikrowellen-, Infrarot-, UV- und Röntgenstrahlung sind Teil der unsichtbaren Strahlung.

Die verschiedenen Formen der Strahlung teilt man auf Grund ihrer unterschiedlichen Wirkungen ein. Diese Einteilung erfolgt über das **elektromagnetische Spektrum** (siehe Abbildung).

Sichtbare Strahlung ist die einzige Strahlung, die wir Menschen mit unseren Augen wahrnehmen können.

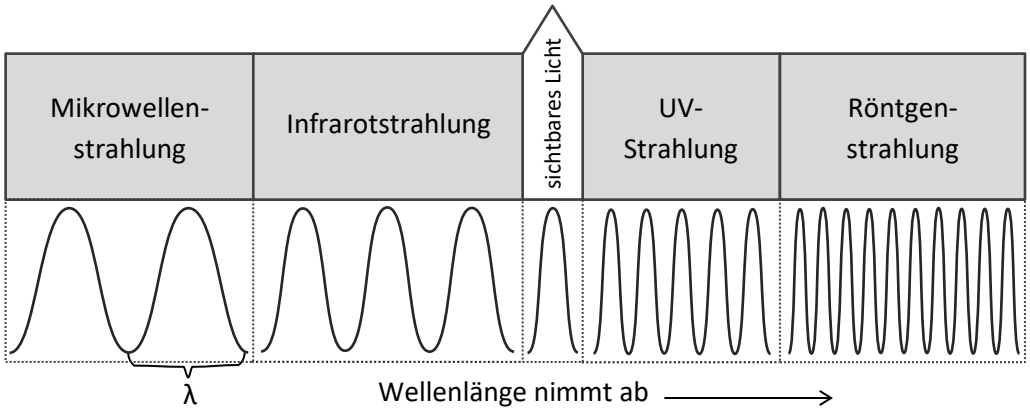
Unsichtbare Strahlung können wir nicht sehen, teilweise jedoch fühlen.

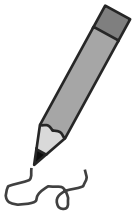
Die wärmende Wirkung der Infrarotstrahlung können wir mit unserer Haut spüren. Infrarotstrahlung wird von Gegenständen auf Grund ihrer Temperatur emittiert (emittieren = aussenden). Auch du emittierst Infrarotstrahlung!

Die physikalische Größe, anhand derer die verschiedenen Strahlungsarten unterschieden werden, ist die Wellenlänge λ („lambda"). Jede Art der elektromagnetischen Strahlung wird durch einen bestimmten Wellenlängenbereich definiert.

Heute wirst du einiges über **Mikrowellenstrahlung** erfahren. Die Wellenlängen von Mikrowellen liegen im Bereich von 1m bis 1mm. Mikrowellenstrahlung wird z.B. zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen und zur Kommunikation mit Handy (Mobilfunkstrahlung) oder WLAN eingesetzt.

Abbildung des elektromagnetischen Spektrums





Partnerarbeit:

Schreibe mit deiner Partnerin/deinem Partner 3 Merksätze zum Text auf.

Folgende Wörter sollen dabei enthalten sein: ***Strahlung****,* ***elektromagnetisches Spektrum****,* ***Wellenlänge*** *und* ***Mikrowellenstrahlung****.*

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Strahlung	Elektromagnetisches Spektrum	Wellenlänge	Mikrowellenstrahlung

2. Experimentieren mit Mikrowellen

Gemeinsam mit deiner Forschungsgruppe führst du 3 Experimente zu Mikrowellenstrahlung durch. Die dafür benötigten Materialien findest du an den jeweiligen Forschungsstationen. Beachte die Infokästchen mit hilfreichen Tipps!

Forschungsstation 1 – Wellenlänge

Forschungsstation 2 – Mobilfunkstrahlung

Forschungsstation 3 – Mikrowellenstrahlung

Forschungsstation 1 – Wellenlänge

Wie du aus dem Text zu elektromagnetischer Strahlung weißt, wird Mikrowellenstrahlung zur Erwärmung von Lebensmitteln im Mikrowellenofen eingesetzt. Die erzeugten Mikrowellen besitzen eine bestimmte **Wellenlänge λ**, die du ermitteln wirst.

Material:	Mikrowellenofen, Schokolade, Teller, Küchenrolle, Stoppuhr, Lineal
Anleitung:	Packe die Schokolade aus der Folie aus und lege das ganze Stück auf ein Blatt Küchenrollen-Papier in die Mitte des Tellers. Achte darauf, dass du die Schoko mit der glatten Seite nach oben platzierst. Stelle den Teller in den Mikrowellenofen und schalte diesen bei 600 W für 45 Sekunden ein. Miss die Zeit mit einer Stoppuhr! Nimm den Teller aus dem Mikrowellenofen – Achtung heiß! – und miss mit dem Lineal den Abstand zwischen den geschmolzenen Bereichen („Hot Spots“) auf der Schokolade. Notiere dir den Wert.

Gemessener Wert: _____ cm

Überlege wie du aus deiner Messung die Wellenlänge der Mikrowellen ermitteln kannst und schreibe den Wert der Wellenlänge λ auf:

_____

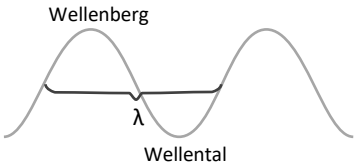
_____

_____

Wert der Wellenlänge λ: _____ cm

Zusatz-Info:

Die sogenannten „Hot Spots“ treten an Wellenbergen und -tälern auf. Dort ist die Schwingung der Mikrowelle und somit die Energie am größten. Der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“ ist als die halbe Wellenlänge $\lambda/2$ definiert.



Forschungsstation 2 – Mobilfunkstrahlung

Mikrowellenstrahlung kann, wie jede Art von elektromagnetischer Strahlung, durch gewisse Materialien abgeschirmt werden. Im folgenden Versuch wirst du mit deinem Forschungsteam ermitteln, wie sich Mikrowellenstrahlung in Verbindung mit unterschiedlichen Materialien verhält.

Material:	Mehrere Handys bzw. Smartphones, Box aus Kunststoff, Edelstahlgewebe, Alufolie, zwei Keramik-Töpfe, Silbergitter-Stoff, Kartonschachtel
Anleitung:	Teste alle Materialien auf ihre Eigenschaften bei Interaktion mit Mobilfunkstrahlung. Schalte dein Handy auf laut, um das Klingeln hören zu können! Achte beim Versuch darauf, dass jedes Material einzeln getestet wird und gehe Schritt für Schritt vor. Ein Handy muss dafür vollständig mit dem jeweiligen Material umgeben sein. Achte dabei darauf, dass das Handy von allen Seiten mit Material vollständig bedeckt ist! Anschließend wird es mit einem anderen Handy angerufen. Bildet Teams und testet die Materialien gleichzeitig! Ihr braucht mehrere Handys. Ein Team testet die Box aus Kunststoff, während das andere Team zur gleichen Zeit das Edelstahlgewebe testet. Danach testet ein Team die Alufolie, während das andere Team die Keramik-Töpfe testet. Zuletzt werden der Silbergitter-Stoff und die Karton-schachtel getestet. Notiere deine Beobachtungen zu allen Materialien! Blättere dann auf die zweite Seite und überlege dir eine Erklärung!

Was konntest du beobachten?

Kunststoff:	
Edelstahlgewebe:	
Alufolie:	
Keramik:	
Silbergitter-Stoff:	
Karton:	

Zusatz-Info:

Die emittierte Mikrowellenstrahlung von Mobiltelefonen, nennt man **Mobilfunkstrahlung**. Handys kommunizieren über Mikrowellen. Also wird bei abgehenden und einkommenden Anrufen Mikrowellenstrahlung emittiert.

Wie kannst du dir deine Beobachtungen erklären?

Welcher Zusammenhang besteht zwischen deinen Beobachtungen und den unterschiedlichen Materialien?

Forschungsstation 3 – Mikrowellenstrahlung

Der Mikrowellenofen wird im Alltag genutzt, um Lebensmittel zu erwärmen. Durch ein elektrisches Bauteil – ein Magnetron – werden Mikrowellen erzeugt, die sich im Innenraum ausbreiten. Mit deinem Forschungsteam führst du folgenden Versuch zu den Eigenschaften von Mikrowellenstrahlung durch.

Material:	Mikrowellenofen, zwei Gläser, Wasser, Alufolie, Thermometer, Stoppuhr
Anleitung:	Fülle beide Gläser halb mit Wasser und miss die Anfangstemperaturen. Notiere dir die Werte. Umhülle ein Glas vollständig mit Alufolie. Achte darauf, dass keine Kanten entstehen und die Oberfläche glatt bleibt. Drücke dafür die Alufolie so dicht wie möglich an das Glas. Stelle beide Gläser für 45 Sekunden bei höchster Stufe in den Mikrowellenofen. Stoppe die Zeit. Nimm beide Gläser aus dem Mikrowellenofen – Achtung heiß! – und miss die Endtemperaturen des Wassers beider Gläser. Notiere dir die Werte! Vergiss vor Wechsel der Station nicht darauf, das Wasser in den Gläsern wieder auszuleeren!

Wassertemperatur	Wasser in Glas ohne Alufolie	Wasser in Glas mit Alufolie
Anfangstemperatur	°C	°C
Endtemperatur	°C	°C

Versuche gemeinsam mit deinem Forschungsteam eine Begründung für den Ausgang des Experiments zu formulieren:

Zusatz-Info:

Gewisse Stoffe **transmittieren** Mikrowellenstrahlung. Sie lassen Strahlung ungehindert durch. Andere Stoffe **absorbieren** Mikrowellenstrahlung. Dabei wird Strahlungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt. Eine weitere Stoffgruppe **reflektiert** Mikrowellenstrahlung, das Eindringen der Strahlung wird verhindert und sie wird zusätzlich reflektiert. Dabei gilt das Reflexionsgesetz: Der Einfallswinkel α ist gleich dem Ausfallswinkel β.

Zusatzaufgabe zur Wellenlänge

Berechne die Wellenlänge λ der Mikrowellen des Mikrowellenofens, bevor du sie an der Forschungsstation 1 in einem Experiment ermittelst!

Warst du schon bei dieser Forschungsstation, dann überprüfe dein Ergebnis für die Wellenlänge λ der Mikrowellen des Mikrowellenofens!

Auf der Rückseite des Mikrowellenofens steht die Frequenz *f*. Notiere dir den Wert.

Wert der Frequenz *f*: _____ Hz

Die Frequenz *f*, die Ausbreitungsgeschwindigkeit *c* und die Wellenlänge *λ* werden durch diese **Formel** beschrieben: $\boldsymbol{f = \frac{c}{\lambda}}$

Forme die Gleichung um und berechne die Wellenlänge λ:

_____

_____

_____

_____

Berechneter Wert der Wellenlänge *λ*: _____ cm

Gemessener Wert der Wellenlänge *λ:* _____ cm

Sind die beiden Werte für *λ* gleich? Falls nicht, was könnte der Grund dafür sein?

_____

_____

_____

Zusatz-Info:

Die Frequenz *f* ist eine physikalische Größe und gibt die Anzahl der Schwingungen pro Zeiteinheit an. Die Einheit ist Hertz (Hz).

Die Lichtgeschwindigkeit *c* beträgt 300.000.000 m/s.

Tipp Nr. 1

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Unterstreiche mit deiner Partnerin/deinem Partner die Abschnitte im Text zu elektromagnetischer Strahlung, die ihr als besonders wichtig erachtet!

Tipp Nr. 2

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Überprüfe, ob in den unterstrichenen Passagen folgende Wörter vorkommen: Strahlung, elektromagnetisches Spektrum, Wellenlänge und Mikrowellenstrahlung.

Tipp Nr. 3

Merksätze zu elektromagnetischer Strahlung:

Versucht mit Hilfe der unterstrichenen Abschnitte aus dem Text und den Wörtern auf Seite 2 drei Sätze zu bilden. Sind darin alle wichtigen Informationen enthalten?

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 1 –Experiment und Wellenlänge:

Um den Abstand zwischen den geschmolzenen Bereichen zu messen, miss mit einem Lineal von einer geschmolzenen Stelle zu einer anderen geschmolzenen Stelle und notiere dir den Wert. Es macht nichts, wenn die „Hot Spots“ nicht gleich groß sind.

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 1 –Experiment und Wellenlänge:

Der von dir und deiner Forschungsgruppe gemessene Wert, also der Abstand zwischen zwei „Hot Spots“, sollte zwischen 6 cm und 7 cm liegen.

Lies dir mit deinem Forschungsteam die Tipps aus dem Zusatz-Info Kästchen durch!

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 1 –Experiment und Wellenlänge:

Du hast den Abstand zwischen den geschmolzenen Stellen auf der Schokolade gemessen und dieser Wert ist die Hälfte der Wellenlänge λ. Somit sollte dein Wert für λ zwischen 12 und 14cm liegen.

Tipp Nr. 1

Zusatzaufgabe – Berechnung Wellenlänge:

Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des Zusatz-Info Kästchens durch. Kontrolliere, ob der Wert der Frequenz f korrekt vom Mikrowellenofen notiert ist.

Könnt ihr mit diesen Informationen den Wert der Wellenlänge λ berechnen?

Tipp Nr. 2

Zusatzaufgabe – Berechnung Wellenlänge:

Schreibe dir die Werte für f und c auf und setze die Werte in die Formel ein. Forme die Gleichung um und berechne: $\lambda = \frac{c}{f}$

Achte bei deinem Ergebnis auf die korrekte Einheit! Gib λ in cm und nicht in m an.

Tipp Nr. 3

Zusatzaufgabe – Berechnung Wellenlänge:

Das Ergebnis für die Berechnung der Wellenlänge λ ist 0,1224 m bzw. 12,24 cm.

Messungen sind, im Vergleich zu Berechnungen, in der Regel etwas ungenauer. Die Ergebnisse aus der Messung und der Berechnung der Wellenlänge λ sind deshalb nicht gleich.

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 2 – Experiment und Beobachtungen:

Formt Teams! Jedes Team benötigt jeweils 2 Handys. Team Nr. 1 legt ein Handy in die Kunststoff-Box und verschließt die Box. Team Nr. 2 umgibt ein Handy vollständig von allen Seiten mit dem Edelstahlgewebe. Anschließend rufen die Teams die jeweiligen Handys gleichzeitig an und die Beobachtungen werden notiert. Macht dann dasselbe mit der Alufolie und den Keramik-Töpfen (einer wird kopfüber auf den anderen gestellt) und dem Silbergitter-Stoff und der Kartonschachtel.

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 2 – Experiment und Beobachtungen:

Notiere in die zugehörigen Kästchen, was du bei den Versuchen beobachten konntest.

Mögliche Beobachtungen: Es funktioniert und Mobilfunkstrahlung wird durchgelassen (transmittiert), oder es funktioniert nicht und Mobilfunkstrahlung wird abgeschirmt (reflektiert).

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 2 – Experiment und Beobachtungen:

Erklärung der Beobachtungen:

Mobilfunkstrahlung wird bei Interaktion mit Karton, Kunststoff und Keramik transmittiert.

Mobilfunkstrahlung wird bei Interaktion mit Alufolie, Silbergitter-Stoff und Edelstahlgewebe (i.A. Metallen) reflektiert.

Tipp Nr. 1

Forschungsstation 3 – Experiment:

Notiert euch die Werte der Anfangs-temperaturen des Wassers von beiden Gläsern! Umwickle erst nach Notieren der Wassertemperatur das eine Glas mit Alufolie.

Achte darauf, dass das Glas vollständig umwickelt ist und die Alufolie eng am Glas anliegt und keine Kanten entstehen.

Tipp Nr. 2

Forschungsstation 3 – Experiment:

Lies dir mit deiner Forschungsgruppe die Hinweise des Zusatz-Info Kästchens durch.

Könnt ihr mit diesen Informationen den Ausgang des Versuchs erklären?

Tipp Nr. 3

Forschungsstation 3 – Experiment:

Erklärung des Versuchs:

Glas transmittiert Mikrowellenstrahlung.

Wasser absorbiert Mikrowellenstrahlung.

Alufolie reflektiert Mikrowellenstrahlung.

Elektromagnetische Strahlung

3 Tipps

zu den Merksätzen zu elektromagnetischer Strahlung

Experimentieren mit Mikrowellen

Forschungsstation 1

3 Tipps

zur Durchführung des Experiments und Ermittlung der Wellenlänge

Experimentieren mit Mikrowellen

Forschungsstation 2

3 Tipps

zur Durchführung, Beobachtung und Erklärung des Experiments

Experimentieren mit Mikrowellen

Forschungsstation 3

3 Tipps

zur Durchführung, Beobachtung und Erklärung des Experiments

Experimentieren mit Mikrowellen

Zusatzaufgabe

3 Tipps

zur Berechnung der Wellenlänge

7.3.2 Zweite Unterrichtsstunde

- Moderation
- Studienvertreterinnen und -vertreter
- Komitee
- Expertinnen und Experten

Moderation

Thema der Diskussion:

- „Mobilfunkstrahlung – Gefahr oder Nutzen“
- Diskussionsrunde mit
  - Vertreterinnen und Vertretern verschiedener Studien
  - Expertinnen und Experten
  - Komitee-Mitgliedern
- Die Studienvertreterinnen und -vertreter stellen die unterschiedlichen Studien vor.
- Die Expertinnen und Experten präsentieren wichtige Zusatzinformationen rund um die Mobilfunkstrahlung.
- Das Komitee sammelt während der Diskussion Informationen, kategorisiert diese, stellt Fragen und fällt am Ende ein Urteil.
- Ziel der Debatte:
  - Einigung oder Kompromiss
- Einteilung der Schülerinnen und Schüler in die unterschiedlichen Gruppen
  - Vertreterinnen und Vertreter der Studien (5 bzw. 10), Expertinnen und Experten (7), Komitee-Mitglieder (3 bzw. 5)

Moderation

- Gesprächsregeln auffrischen
  - Wertschätzender Umgang miteinander
  - Einander ausreden lassen
  - Aktiv zuhören und Bezug zu bereits Erwähntem herstellen
- 10 Minuten Zeit, um die Info-Kärtchen zu lesen, die Fragen zu beantworten und Argumente auszuarbeiten
  - Komitee-Mitglieder sollen Vermutungen aufstellen und gemeinsam Fragen formulieren

Einleitende Worte zur Diskussion:

- Der aktuelle Stand der Forschung bzgl. Mobilfunkstrahlung und Krebs ist widersprüchlich:
  - Einerseits gibt es Nachweise, dass kein Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und der Erkrankung an Gehirntumoren besteht.
  - Andererseits liegen Beweis für einen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobiltelefonen und Hirntumor-Erkrankungen vor.
- Beginn der Diskussion mit der Vorstellung der Studien (der Reihe nach), nach jeder Studie werden Fragen an die Expertinnen und Experten gestellt.

Moderation

- 1. Studie UK
  - Frage an die Expertinnen und Experten: Was sind sogenannte Gliome?
- 2. Studie Dänemark
  - Frage an die Expertinnen und Experten: Gibt es Informationen zur Strahlungsintensität von Mobiltelefonen?
  - Frage an die Expertinnen und Experten: Weiß jemand wie das Mobilfunknetz funktioniert? (Stichwort: Basisstationen)
- 3. Studie Schweden
  - Frage an die Expertinnen und Experten: Wie hoch ist das Risiko an Hirntumoren zu erkranken? (Falls schon erwähnt, nochmal darauf hinweisen, besonders was die Verdoppelung des Risikos bedeutet)
  - Frage an die Expertinnen und Experten: Was können weitere mögliche Ursachen von Krebs sein? Wodurch kann das Risiko an Krebs zu erkranken noch erhöht werden? (Stichwort: Karzinogene und ionisierende Strahlung)
- 4. INTERPHONE Studie
  - Frage an die Expertinnen und Experten: Woher wissen wir, wie viel Mobilfunk-Strahlung vom menschlichen Körper absorbiert wird? (Stichwort: SAR-Wert)
- 5. Studie USA
  - Frage an die Expertinnen und Experten: Wie können diese Ergebnisse aus biologischer Sicht erklärt werden?

Moderation

- Fragen an die Expertinnen und Experten :
  - Gibt es noch weitere Informationen zu Gefahren oder Nutzen von Mobilfunkstrahlung?
  - Wurde etwas noch nicht erwähnt?
- Komitee-Mitglieder bitten, ihre zu Beginn ausgearbeiteten Fragen an die Studienvertreterinnen und -vertreter bzw. Expertinnen und Experten zu stellen
- Beratungsphase:
  - Komitee hat 5 Minuten Zeit, um die gesammelten Informationen untereinander zu besprechen, Pros (+) und Kontras (-) abzuwägen und zu einer Einigung oder einem Kompromiss zu gelangen
- Währenddessen offene Fragen mit den Schülerinnen und Schülern besprechen
- Im Plenum
  - kurze Vorstellung der Entscheidung der Komitee-Mitglieder

VertreterIn der Studie UK

Diese Studie wurde im United Kingdom (UK) durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie werden zwei Gruppen beobachtet und ein möglicher Zusammenhang zu einer Erkrankung untersucht.
  - Eine Gruppe nutzte Mobiltelefone und eine andere ähnliche Gruppe (bezüglich Alter, Geschlecht und Herkunft) verwendete keine Handys. Anschließend wurde untersucht, wie viele Personen aus beiden Gruppen an Gehirntumoren erkrankten.
- Die Studie ging insgesamt über einen Zeitraum von 7 Jahren (1999 bis 2005) und es nahmen dabei rund 800.000 Frauen teil. Ein Teil der verwendeten Daten stammt von einer anderen Studie, der „Million-Women-Study“, weshalb nur Frauen analysiert wurden.
- Während der Laufzeit der Studie wurde der Gebrauch von Mobiltelefonen analysiert. Die Teilnehmerinnen beantworteten unter anderem Fragen zur Häufigkeit, der Verwendung und der Dauer des Handybesitzes.
- Diese Ergebnisse wurden anschließend in Zusammenhang zum gesundheitlichen Wohlbefinden der Teilnehmerinnen gebracht.
- Ergebnis:
  - Die Untersuchungen an den Frauen ergaben keinen Zusammenhang zwischen der Erkrankung an Gliomen und der Nutzung von Mobiltelefonen.
  - Auf Grund der Ergebnisse wurde die Mobiltelefonie-Nutzung somit nicht mit einem erhöhten Risiko für die Entstehung von Hirntumoren in Verbindung gebracht.

VertreterIn der Studie Dänemark

Diese Studie wurde in Dänemark durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie werden zwei Gruppen beobachtet und ein möglicher Zusammenhang zu einer Erkrankung untersucht.
  - Es wurden die gesundheitlichen Daten aller MobilfunknutzerInnen in Dänemark erfasst. Die Daten der MobilfunknutzerInnen wurden anschließend mit den Daten einer anderen Gruppe verglichen, die keine Mobiltelefone nutzte und bezüglich Alter, Geschlecht und Herkunft der Gruppe der MobilfunknutzerInnen ähnlich war. Anschließend wurde untersucht, wie viele Personen aus beiden Gruppen an Gehirntumoren (Gliomen) erkrankten.
- Die Erfassung der Daten ging insgesamt über einen Zeitraum von 9 Jahren (1987 bis 1995) und bis 2007 wurden die medizinischen Daten der TeilnehmerInnen weiter verfolgt. Es nahmen rund 360.000 MobilfunknutzerInnen teil.
- Die Anzahl der Tumorerkrankungen in der Gruppe der MobilfunknutzerInnen wurde mit der anderen Gruppe (auch Kontrollgruppe genannt) verglichen. Durch die Anzahl der Krebserkrankungen in beiden Gruppen konnte ein möglicher Zusammenhang zur Nutzung von Mobiltelefonen analysiert werden.
- Ergebnis:
  - Zwischen den beiden Gruppen – Handynutzer und Gruppe, die keine Handys nutzt– wurde kein großer Unterschied bezüglich der Erkrankung an Hirntumoren gefunden.
  - Obwohl frühere Handys höhere Strahlungsintensitäten emittierten (emittieren = aussenden), deuteten die Ergebnisse der Studie auf kein erhöhtes Risiko für die Erkrankung an Gliomen durch Mobiltelefon-Nutzung hin.

VertreterIn der Studie Schweden

Diese Studie wurde in Schweden durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie wird eine Gruppe von Erkrankten mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen und anschließend auf mögliche Ursachen der Erkrankung geschlossen.
  - Es wurde dabei eine Gruppe von Hirntumor-PatientInnen mit gesunden Personen aus einer anderen Gruppe (ähnlich bezüglich Alter, Geschlecht, Herkunft) verglichen. Anschließend wurde analysiert, wie lange und wie oft die TeilnehmerInnen von beiden Gruppen mit dem Handy telefonierten.
- Die Studie lief insgesamt über 10 Jahre (1997 bis 2003, 2007 bis 2009) und es wurden knapp 1.500 Gliom-PatientInnen beobachtet. Die lange Dauer war notwendig, um die große Zahl an PatientInnen mit Gehirntumoren zu erhalten.
- Es wurde das Verhalten der TeilnehmerInnen bei der Nutzung von Mobiltelefonen (speziell die Häufigkeit und Dauer der Verwendung) durch Fragebögen und teilweise zusätzlichen Interviews untersucht.
- Anschließend wurden die Ergebnisse beider Gruppen ausgewertet und ein möglicher Zusammenhang zwischen der Handy-Nutzung und den Hirntumor-Erkrankungen untersucht.
- Ergebnis:
  - Die Untersuchungen deuteten darauf hin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko an Gliomen zu erkranken verdoppelt.
  - Das größte Risiko fand man dabei für Gliomen im Temporallappen des Gehirns.

VertreterIn der INTERPHONE-Studie

Die INTERPHONE Studie wurde in 13 Ländern durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie wird eine Gruppe von Erkrankten mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen und anschließend auf mögliche Ursachen der Erkrankung geschlossen.
  - Es wurde eine Gruppe von PatientInnen mit Hirntumor (Gliom) mit einer ähnlichen Bevölkerungs-Gruppe (bezüglich Alter, Geschlecht, Herkunft) ohne Hirntumor (Gliom) verglichen. Es wurde dabei besonderes auf den Gebrauch von Mobiltelefonen geachtet und deren Bezug zur Erkrankung analysiert.
- Die INTERPHONE Studie dauerte 5 Jahre (2000-2004) und es nahmen über 5.100 PatientInnen mit Gehirntumoren teil.
- Der Gebrauch von Mobiltelefonen wurde durch standardisiert durchgeführte Interviews ermittelt.
- Ein Ziel der Studie war die Untersuchung, ob Mobilfunkstrahlung das Risiko der Entstehung von Hirntumoren erhöht.
- Ergebnis:
  - Die Auswertung der Daten deutete darauf hin, dass durch die Nutzung von Mobiltelefonen kein erhöhtes Risiko für die Entstehung von Hirntumoren besteht.
  - Die Nutzung von Mobiltelefonen bei höchster Strahlungsintensität wies auf die Möglichkeit eines erhöhten Risikos für die Erkrankung an Hirntumoren hin.

VertreterIn der Studie USA

Diese Studie wurde in den USA durchgeführt.

- Art der Studie:
  - Bei dieser Art von Studie laufen die Untersuchungen über einen längeren Zeitraum, im Schnitt in etwa 15 Jahre und länger.
  - In die Untersuchung wurden verschiedene Faktoren (z.B. Ergebnisse anderer Studien) miteinbezogen und im Großen und Ganzen wurde die Zahl der Gliom-Fälle in den USA beobachtet und mit Voraussagen verglichen.
- Die Studie lief über einen Zeitraum von 17 Jahren (1992 bis 2008). Während dieser Zeit wurden die Daten von etwa 25.000 US-BürgerInnen gesammelt und ausgewertet.
- Dabei wurden die beobachteten Krankheitsfälle mit den vorausgesagten Fällen an TumorpatientInnen verglichen. Dafür wurden die Daten der Studie aus Schweden und der INTERPHONE Studie herangezogen. Die Ergebnisse dieser beiden Studien wurden mit den tatsächlichen Hirntumor-Fällen in Vergleich gebracht.
- Es wurde somit die aktuelle Zahl an Tumor-Erkrankten in den USA untersucht und mit den vorhergesagten Fällen an PatientInnen (der Studien Schweden und INTERPHONE) verglichen.
- Ergebnis:
  - Die Ergebnisse der schwedischen Studie, die auf ein erhöhtes Risiko hinwiesen, stimmen nicht mit den beobachteten Hirntumor-Patientinnen in den USA überein. Es wurde ein großer Unterschied zwischen den vorhergesagten und dokumentierten Krankheitsfällen beobachtet.
  - Die Ergebnisse der INTERPHONE Studie, die auf kein erhöhtes Risiko hindeuten, stimmen mit den Ergebnissen der USA überein.

Lies dir die Informationen zur Studie durch und fasse die wichtigsten Aspekte zusammen – Art der Studie, Dauer, sonstige Infos und Ergebnisse. Deine Ausarbeitung brauchst du für die Diskussionsrunde!

Komitee-Mitglied

Notiere dir während der Diskussionsrunde die Infos der Studienvertreterinnen und -vertreter und Expertinnen und Experten und Teile sie in die Spalten für und gegen Mobilfunkstrahlung ein!

PRO Mobilfunkstrahlung +	KONTRA Mobilfunkstrahlung -

Komitee-Mitglied

- Was denkst du über die Gefahren von Mobilfunkstrahlung? Schreibe zwei Ideen auf!

- Formuliere mit den anderen Komitee-Mitgliedern drei Fragen für die Diskussionsrunde!

Lies dir die Informationen auf deinem ExpertInnen-Kärtchen durch und schreibe die besten drei Argumente (wichtige Aussagen) auf! Als ExpertIn brauchst du deine Ausarbeitung für die Diskussionsrunde, um die anderen informieren zu können.

ExpertInnen-Information

- Die Kosmische Hintergrundstrahlung aus dem Weltall liegt im Bereich der Mikrowellenstrahlung und erfüllt das ganze Universum. Sie ist die älteste Strahlung im Universum.
- Mobilfunkstrahlung ist Teil der Mikrowellenstrahlung. Und Mikrowellenstrahlung ist aus physikalischer Sicht Teil der nicht ionisierenden Strahlungsarten.
  - Andere nicht ionisierende Strahlungsarten sind z.B. sichtbares Licht oder Infrarotstrahlung.
- Ionisierende Strahlungsarten sind z.B. UV-Strahlung, Röntgenstrahlung oder Gammastrahlung.
  - Ionisierende Strahlung greift die DNA biologischer Zellen an und beschädigt sie, wodurch Tumore entstehen können.
  - Mikrowellenstrahlung ist nicht ionisierend und besitzt nicht genug Energie, um biologische Zellen dauerhaft zu verändern.
- Eigenschaften von Mikrowellenstrahlung:
  - Mikrowellenstrahlung wird von Metallen reflektiert. Wasser und wasserhaltige Substanzen absorbieren Mikrowellenstrahlung, dabei wird die Strahlungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt. Andere Materialien wie Glas, Keramik, Kunststoff und Karton transmittieren (=durchlassen) Mikrowellenstrahlung.

ExpertInnen-Information

- Aus biologischer Sicht treten durch Mobilfunkstrahlung Effekte auf, die den menschlichen Organismus beeinflussen. Dies heißt jedoch nicht unbedingt, dass diese Effekte eine Gefahr für den Menschen darstellen.
- Generell wird durch die Nutzung von Mobiltelefonen und der dadurch emittierten (emittieren = aussenden) Mobilfunkstrahlung ein erhöhtes Gesundheitsrisiko nicht ausgeschlossen.
- Jegliche durch Mobilfunkstrahlung ausgelösten negativen Auswirkungen auf den menschlichen Körper sind sehr schwer zu erforschen und zu beweisen.
- Positive Effekte von Mikrowellenstrahlung:
  - Kurzzeitige Einwirkung von Mikrowellenstrahlung kann kognitive Funktionen, die Aufmerksamkeit und die Kapazität des Kurzzeit-Gedächtnisses verbessern.
  - Das Risiko an Alzheimer zu erkranken ist bei Langzeit-Mobilfunk-Nutzern (Nutzung mehr als 10 Jahre) um 30-40% niedriger als bei anderen Personen.

ExpertInnen-Information

- Als Gliom wird eine bestimmte Art von Krebs bezeichnet, genauer gesagt Tumore, die sich häufig im Gehirn bilden (Hirntumore) und die in 80% der Fälle bösartig sind.
  - Hirntumore stellen etwa 2% aller Krebserkrankungen dar und gelten als vergleichsweise selten.
- Nach wie vor ist es unklar, wodurch Hirntumore genau entstehen.
  - In rund 5% der Fälle ist die Entstehung von Tumoren jedoch auf eine genetische Ursache zurückzuführen.
- Durchschnittliches Risiko an Gliomen zu erkranken
  - Durchschnittlich erkranken in etwa 3 bis 5 Menschen aus 100.000 an einem Hirntumor (Gliom), die Anzahl an Erkrankungen ist dabei abhängig von Ort und Herkunft.
  - Die Verdoppelung dieses Risikos würde bedeuten, dass anstatt 3 bis 5, in etwa 6 bis 10 Menschen aus 100.000 Personen an Gliomen erkranken würden.
- Das Risiko an Krebs zu erkranken kann durch gewisse Substanzen, Strahlungen oder Stoffe erhöht werden.

ExpertInnen-Information

- Die Strahlungsintensität von Mobiltelefonen ist am größten, wenn bei schlechtem Empfang telefoniert wird, oder wenn ein Anruf getätigt bzw. angenommen wird.
- Schlechter Empfang
  - Die Intensität der Strahlung des Handys wird bei schlechtem Empfang gesteigert, um Kontakt zur Basisstation herzustellen zu können. Die Strahlungsintensität des Mobiltelefons erreicht dabei ein Maximum.
- Rufaufbau oder Rufeingang
  - Bei Rufaufbau oder -eingang wird die Intensität der Strahlung des Handys ebenso gesteigert, da Kontakt zur Basisstation hergestellt werden muss, um den Anruf weiterleiten zu können.
- Durch die erhöhte Strahlung, die vom Mobiltelefon ausgeht, wird das umliegende Gewebe stärker erwärmt.
- Einige Maßnahmen, die man treffen kann, um die Strahlungsintensität auf den Kopf/Körper zu verringern wären zum Beispiel:
  - Bei gutem Empfang telefonieren
  - Erst bei Gesprächsannahme das Handy zum Ohr halten
  - Mit Headset telefonieren

ExpertInnen-Information

- Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) erforscht mögliche Ursachen von Krebs
  - Die IARC erstellte dafür eine Liste von mehr als 1000 möglichen Karzinogenen.
  - Als Karzinogene bezeichnet man Substanzen, Strahlungen oder Stoffe, die zu Krebs führen können
  - Die Karzinogene wurden anhand ihrer krebserregenden Eigenschaften in fünf Gruppen eingeteilt.
- Gruppe 1: sicher krebserregend
  - Asbest, Arsen (Halbmetall), ionisierende Strahlung, Konsum von Tabak und alkoholischen Getränken, Verzehr von verarbeitetem Fleisch, …
- Gruppe 2A: wahrscheinlich krebserregend
  - Verzehr von rotem Fleisch, Infektion mit HPV oder Malaria, …
- Gruppe 2B: möglicherweise krebserregend
  - Chloroform (Narkosemittel), Benzin-Abgase, Mobilfunkstrahlung, …
- Gruppe 3: nicht als krebserregend klassifiziert
- Gruppe 4: wahrscheinlich nicht krebserregend

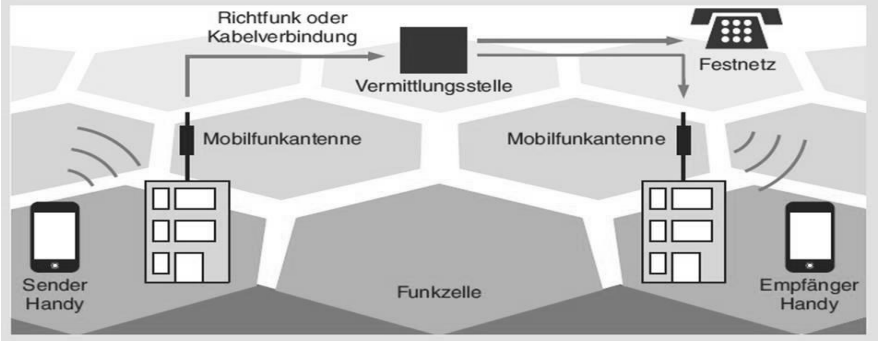
Mobilfunkstrahlung ist Teil der Gruppe 2B und somit für den Menschen möglicherweise krebserregend.

ExpertInnen-Information

- Spezifische Absorptionsrate (SAR)
  - Die spezifische Absorptionsrate gibt an, wie hoch der Anteil der absorbierten Strahlung im menschlichen Körper während der Nutzung eines Mobiltelefons ist.
- SAR-Wert
  - Bei Mobiltelefonen wird der sogenannte SAR-Wert angegeben. Dieser Wert liegt bei modernen Smartphones ungefähr zwischen 0,20 und 1,90 W/kg (Watt pro Kilogramm).
  - Dabei gilt: Je kleiner der Wert ist, desto geringer wird umliegendes Gewebe durch die Mobilfunkstrahlung erwärmt.
- Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt die Einhaltung von Grenzwerten.
- Der europaweit gültige Grenzwert für die spezifische Absorptionsrate (SAR) bei Mobiltelefonen ist:
  - 2,0 Watt pro Kilogramm
- Es wurde auch der maximale Temperaturanstiegs im Bereich des Gehirns bei einem SAR-Wert von 2,0 W/kg untersucht. Anhand der Ergebnisse wurde beschlossen, dass eine dauerhafte Schädigung des menschlichen Organismus bei SAR-Werten unter 2,0 W/kg äußerst unwahrscheinlich ist.

ExpertInnen-Information

- Die Funktionsweise unseres Mobilfunknetzes basiert auf vielen (Funk-)Zellen, die über die jeweiligen Basisstationen (Mobilfunkantennen) mit den Vermittlungsstellen verbunden sind.
  - Je nachdem in welcher Funkzelle sich der Anrufer befindet, wird von dem Handy, welches einen Anruf tätigt, zuerst ein Signal an die jeweilige Mobilfunkantenne gesendet. Dieses Signal wird über die Vermittlungsstelle zu der anderen Mobilfunkantenne geleitet, die sich in der Funkzelle desjenigen befindet, der angerufen wird. Diese Basisstation leitet das Signal an das Handy weiter, welches angerufen wird.



- Basisstationen (Mobilfunkantennen)
  - Die Strahlungsbelastung ausgehend von Basisstationen ist sehr niedrig und allgemeine Untersuchungen bestätigen, dass ein erhöhtes Risiko für die Gesundheit unwahrscheinlich ist.

7.3.3 Kurzanleitung für Lehrpersonen

Unterrichtskonzept Mikrowellenstrahlung

Kurzanleitung für Lehrpersonen

Die Unterrichtseinheit zu Mikrowellenstrahlung umfasst 2 Schulstunden und ist für die 8. Schulstufe konzipiert worden. In Bezug auf den Lehrplan empfiehlt es sich, an den Themenbereich Optik anzuschließen und somit die „Welt des Sichtbaren“ um die „Welt des Unsichtbaren“ zu ergänzen. Die Unterrichtseinheit behandelt die Themen elektromagnetische Strahlung, Absorption, Reflexion und Transmission von Mikrowellen sowie Gefahr und Nutzen von Mobilfunkstrahlung.

1. Unterrichtsstunde

Die Schülerinnen und Schüler erhalten dafür in der ersten Unterrichtsstunde eine Arbeitsmappe mit verschiedenen Aufgaben, die in Partner- bzw. Gruppenarbeit bearbeitet werden. An den unterschiedlichen Forschungsstationen werden gestufte Lernhilfen in Form von Tipps aufgelegt, die den Schülerinnen und Schülern beim Lösen der Aufgaben helfen sollen. Bei Unklarheiten oder Fragen soll auf diese Form von Hinweisen zurückgegriffen werden können.

2. Unterrichtsstunde

In der zweiten Unterrichtsstunde wird eine Diskussionsrunde zum Thema Gefahren und Nutzen von Mobilfunkstrahlung stattfinden. Dafür erhalten die Schülerinnen und Schüler Kärtchen in schülerinnen- und schülergerechter Sprache mit unterschiedlichen Informationen zu Mobilfunkstrahlung, dem Mobilfunknetz, aktuellen Forschungsergebnissen aus fünf ausgewählten Studien und den Auswirkung der Mobilfunkstrahlung auf den Menschen. Die Moderation wird von der Lehrperson übernommen. Die Schülerinnen und Schüler nehmen dabei unterschiedliche Rollen ein und sollen sich aktiv an der Diskussion beteiligen.

Unterrichtsmaterial

- Arbeitsmappe mit den einzelnen Aufgaben
- Gestufte Lernhilfen
- Kuverts mit Überschriften zu den Gestuften Lernhilfen
- Info-Kärtchen zu Mobilfunkstrahlung

Material für die Forschungsstationen

1. Forschungsstation

- Mikrowellenofen
- Schokolade
- Lineal
- Teller
- Stoppuhr
- Küchenrolle

2. Forschungsstation
- mehrere Handys bzw. Smartphones
- Box aus Kunststoff
- Edelstahlgewebe
- Alufolie
- zwei Keramiktöpfe
- Silbergitter-Stoff
- Kartonschachtel

3. Forschungsstation
- Mikrowellenofen
- zwei Gläser
- Wasser
- Alufolie
- Thermometer
- Stoppuhr

Vorbereitungen vor der Durchführung der Einheit

Bevor mit der ersten Stunde der Unterrichtseinheit begonnen wird müssen die Materialien für die Forschungsstationen bereitgestellt werden.

Für die Durchführung ist ein Mikrowellenofen notwendig. Sollte die Schule kein solches Gerät für Versuchszwecke besitzen, kann man über willhaben.at für ca. 10-20€ eine gebrauchte Mikrowelle erwerben. Dabei ist es wichtig, den Drehteller zu entfernen. Zwei Keramiktöpfe, stapelbar und mit genug Platz dazwischen, um ein Smartphone im Zwischenraum platzieren zu können, gibt es günstig in verschiedenen Baumärkten. Eventuell besitzen Sie zwei passende Töpfe, sonst würde es sich auch anbieten im Bekanntenkreis danach zu fragen. Dasselbe gilt für die Schachtel aus Karton, hierfür bieten sich alte Schuhschachteln oder Verpackungsmaterial von Versandunternehmen an. Für die Box aus Kunststoff kann eine Tupper-Box mit passendem Deckel verwendet werden, ein „Plastik-Sackerl“ wäre auch eine Option. Alufolie und Schokolade (Back- bzw. Kochschokolade) lassen sich in jedem Supermarkt kaufen. Achten Sie dabei auf die Marke der Schokolade (clever oder s-budget), da diese den besten Effekt bei der Durchführung des Versuchs erzielt hat und die „Hot Spots“ schön zur Geltung kamen. Ein Teller für die Schokolade kann von Zuhause mitgebracht werden. Zwei Gläser, Lineal, Thermometer und Wasser sollten in jeder Schule bzw. in den Physiksälen vorhanden sein. Einen Taschenrechner müssen die Schülerinnen und Schüler selbst mitbringen. Der Silbergitter-Stoff und das Edelstahlgewebe wurden von einem Unternehmen (Pronatur24) für diese Unterrichtseinheit zur Verfügung gestellt. Auf deren Website kann man gratis Produktmuster anfordern.

Ein paar Sachen müssen vorab gebastelt werden, die jedoch wiederverwendet werden können und einem somit länger dienen:

Die gestuften Lernhilfen müssen ausgedruckt, gefaltet und in entsprechend beschriftete Kuverts gelegt werden. Die Vorlage für die Beschriftung der Kuverts muss ausgedruckt und ausgeschnitten werden. Sie benötigen 5 Kuverts, wenn möglich in unterschiedlichen Farben (für die Einstiegsübung, die drei Forschungsstationen und die Zusatzaufgabe). Drucken Sie die

Kopiervorlage für die Gestuften Lernhilfen beidseitig aus (Druckeroptionen: „drehen über lange Seite“). Der 3. Hinweis befindet sich auf der Rückseite. Die Hinweiskarten werden folgendermaßen gefaltet:

Zusätzlich werden für jede Schülerin und jeden Schüler die Arbeitsmappen mit den Arbeitsblättern zu Mikrowellenstrahlung ausgedruckt.

Für die zweite Stunde der Unterrichtseinheit müssen die Kärtchen für die Moderation, für die Studienvertreterinnen und –vertreter, für die Komitee-Mitglieder und für die Expertinnen und Exoperten ausgedruckt und ggf. zugeschnitten werden.

Durchführung der Unterrichtseinheit

1. Unterrichtsstunde

<u>Einführende Erklärung</u>

Zu Beginn wird den Schülerinnen und Schülern kurz erklärt, was sie in den folgenden beiden Physikstunden erwarten wird. Besprechen Sie mit Ihrer Klasse den Ablauf der Unterrichtseinheit. Die Schülerinnen und Schüler erhalten in der ersten Stunde eine Arbeitsmappe mit verschiedenen Arbeitsaufträgen, die sie in Partner- oder Gruppenarbeit lösen werden. Es wird darauf hingewiesen, dass sich alle benötigten Materialien an den jeweiligen Forschungsstationen befinden. Wichtig ist an dieser Stelle zu erklären, dass es für alle Aufgaben Lösungshinweise gibt, die in beschrifteten Kuverts am Lehrtisch aufliegen. Bei Fragen oder Problemen sollen diese Hinweise herangezogen werden. Wenn die Schülerinnen und Schüler mit einer Aufgabe fertig sind, können sie nicht genutzte Tipps lesen und ihre Lösungen so kontrollieren.

<u>Austeilen der Arbeitsblätter</u>

Jede Schülerin und jeder Schüler sollte ein Exemplar der Arbeitsmappe erhalten.

<u>Einteilung in Zweiergruppen</u>

Für die erste Übung werden die Schülerinnen und Schüler in Zweiergruppen eingeteilt.

Bearbeitung der 1. Aufgabe

Den Schülerinnen und Schülern wird mitgeteilt, dass sie für den ersten Arbeitsauftrag 10 Minuten Zeit haben. Nach Ablauf der Zeit folgt die Einteilung in die Forschungsgruppen.

Einteilung in die Forschungsgruppen

Die Forschungsstationen werden im Stationenbetrieb von jeweils drei Forschungsgruppen bearbeitet. Die Anzahl der Schülerinnen und Schüler pro Gruppe variiert dabei je nach Größe der Klasse. Die Gruppen werden nach dem Prinzip des „Durchzählens" eingeteilt. Dabei zählen die Schülerinnen und Schüler der Reihe nach von „eins" bis „drei", nach „drei" folgt wieder „eins" und so weiter. Anschließend gehen alle Personen, die „eins" bzw. „zwei" bzw. „drei" gezählt haben zusammen und man erhält drei ungefähr gleich große Gruppen.

Stationenbetrieb

Während der Bearbeitung der Forschungsstationen soll sich die Lehrperson im Hintergrund halten. Die Schülerinnen und Schüler sollten die meisten Fragen durch die Hinweise der gestuften Lernhilfen beantworten können. Achten Sie darauf, dass die Tipps wirklich gelesen werden!

Wenn Schülerinnen und Schüler mit einer Aufgabe fertig sind, besteht die Möglichkeit etwaige Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Frage zu besprechen und gegebenenfalls Verständnisfragen zu klären bzw. ergänzende Erklärungen zu liefern.

Nach 8 Minuten wird seitens der Lehrperson der baldige Wechsel der Forschungsstationen angekündigt. Den Schülerinnen und Schülern wird 2 Minuten Zeit gegeben, um die letzten Arbeitsschritte zu tätigen und zu einem Ende zu kommen. Nach 10 Minuten werden die Gruppen gewechselt. Sollten die Gruppen bei einer Station schon früher fertig sein, wird auf die Zusatzaufgabe hingewiesen, die inzwischen als Überbrückung bearbeitet werden kann.

Zurückholen ins Plenum

Die letzten Minuten werden genutzt, um offene Fragen im Plenum zu beantworten.

2. Unterrichtsstunde

Einführende Erklärung

Zu Beginn wird den Schülerinnen und Schülern kurz erklärt, was sie in dieser Physikstunde erwarten wird. Besprechen Sie mit Ihrer Klasse den Ablauf der Unterrichtseinheit. Es wird eine Diskussionsrunde zum Thema Gefahren und Nutzen von Mobilfunkstrahlung stattfinden. Die Informationen werden den Schülerinnen und Schülern in Form von Info-Kärtchen bereitgestellt.

Es gibt unterschiedliche Rollen, die von den Schülerinnen und Schülern eingenommen werden. Ein Komitee wird am Ende abstimmen und das Ergebnis präsentieren.

Nehmen Sie sich an dieser Stelle Zeit, um die Gesprächsregeln wieder aufzufrischen. Betonen Sie, dass man einander ausreden lassen soll und den anderen aktiv zugehört werden soll. Die Schülerinnen und Schüler sollen Bezug zu bereits Erwähntem herstellen. Der wertschätzende Umgang miteinander ist äußerst wichtig, Schimpfwörter und feindliche Äußerungen sind fehl am Platz.

Verteilung der Rollen

Den Schülerinnen und Schülern werden die unterschiedlichen Rollen erklärt. Zum einen gibt es die Studienvertreterinnen und -vertreter fünf verschiedener Studien zu Mobilfunkstrahlung. Pro Studie gibt es maximal zwei Vertreterinnen und Vertreter, die Informationen zum Studiendesign und den Ergebnissen der Studien erhalten. Diese Studien werden im Rahmen der Diskussion präsentiert. Zum anderen gibt es noch das Komitee, bestehend aus drei oder fünf Personen, die sich während der Diskussionsrunde objektiv verhalten, Fragen stellen, sich Pro- und Kontra-Punkte notieren und am Ende ein Urteil über Gefahr oder Nutzen von Mobilfunkstrahlung fällen. Dem Rest der Klasse werden Expertinnen- und Experten-Rollen verschiedenster Bereiche zugeteilt. Sie erhalten Informations-Kärtchen zu Mobilfunkstrahlung im Allgemeinen, dem SAR-Wert, dem Mobilfunknetz, der Auswirkung von Mobilfunkstrahlung auf den Menschen, usw. Die Lehrperson übernimmt die Moderation, auch dafür wurden Kärtchen erarbeitet.

Die unterschiedlichen Rollen, sowie die entsprechenden Info-Kärtchen werden von der Lehrperson an die Schülerinnen und Schüler verteilt. Es sollte darauf geachtet werden, dass jede Schülerin und jeder Schüler ein Kärtchen erhält.

Lesen der Informationen

Nach Austeilen der Kärtchen haben die Schülerinnen und Schüler 10 Minuten Zeit, um sich die Informationen auf den jeweiligen Kärtchen durchzulesen und bei Unklarheiten die Lehrperson zu fragen. Die Studienvertreterinnen und -vertreter sollen die Informationen ihrer Studie gemeinsam besprechen.

Diskussionsrunde

Die Diskussion wird von der Lehrperson durch eine kurze Einleitung begonnen, bei der auf den widersprüchlichen Stand der Forschung zum Thema Mobilfunkstrahlung eingegangen wird. Danach werden die Studienvertreterinnen und -vertreter gebeten, der Reihe nach die Studien, deren Art, sowie deren Ergebnisse zu präsentieren. Weiterführend werden von der Moderation zwischendurch Fragen an die Expertinnen und Experten gestellt. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler auf die Beiträge der anderen Bezug nehmen und an bereits Gesagtes anknüpfen. Es

ist gewünscht, Fragen zu stellen, besonders von den Komitee-Mitgliedern. Als Lehrkraft soll darauf geachtet werden, dass jede und jeder mindestens einmal zu Wort kommt. (Dauer ca. 20 Minuten)

Besprechung des Komitees und Präsentation der Ergebnisse im Plenum

10 Minuten vor Ende der Unterrichtsstunde werden die Komitee-Mitglieder gebeten, sich 5 Minuten lang zusammenzusetzen um die gesammelten Informationen untereinander zu besprechen, die Pros (+) und Kontras (-) abzuwägen und zu einer Einigung oder einem Kompromiss zu gelangen. Die Ergebnisse werden anschließend im Plenum vorgestellt.

7.4 Think-Alouds

Think Aloud – Schülerin (S1)

S1 Liest die Angabe und den Text durch. Kommt zu dem Punkt des elektromagnetischen Spektrums und liest die Strahlungsarten, die am Spektrum notiert sind, laut vor. Liest den Text weiter vor.

S1: Emittert? Emittert aussenden. (*S1 ist die Aussprache des Wortes unklar*)

S1 liest weiter.

S1: Lambda?

I: Ja

S1 lacht und liest weiter. S1 ist mit dem Lesen des Texts fertig.

S1: Und jetzt weiter?

I: Mhm. (l*acht*)

S1 liest die Aufgabenstellung durch.

S1: Kann ich da nachschauen auch noch einmal? (*Meint den Text zu elektromagnetischer Strahlung*)

I: Mhm, sicher.

S1 blättert um und liest gewisse Abschnitte des Texts nochmal durch. Notiert sich Merksätze.

S1: Also mit Lichtgeschwindigkeit (…)

I: Du kannst einfach laut sagen, was du dir denkst. Ganz frei.

S1: Ok. (…) Die sichtbare Strahlung, was brauche ich noch? (*Streicht Strahlung durch*)

S1 liest gewisse Teile des Textes nochmal laut durch. Notiert sich weiter die Merksätze. Murmelt leise.

I: Ist etwas unklar?

S1: Nein es geht schon. (*Murmelt*)

I: Was denkst du jetzt gerade?

S1: Wie ich das am besten schreiben soll. (*Lacht*)

S1: Die Einteilung (…) der Strahlung (…) erfolgen (…) (*S1 schreibt auf*)

S1 blättert währenddessen zwischen Seite 1 und 2 hin und her. Streicht elektromagnetisches Spektrum durch. I schiebt das Handy weiter zur S1.

I: Ich leg das Handy nur weiter zu dir, dass ich nachher alles verstehe.

S1: Ja, kein Problem.

S1 seufzt und blättert um

S1: Die Wellenlänge von Mikrowellen, ok. Hmm. (…) (*Liest nochmal den Satz durch*) die sogenannte Wellenlänge.

S1 schreibt weiteren Merksatz auf. Streicht Mikrowellenstrahlung durch.

S1: Ok.

S1 liest die Angabe zu Experimentieren mit Mikrowellen durch.

S1: Ok.

S1 steht auf und geht zu Forschungsstation 2.

S1: (?) (*Hat sich informiert, ob sie mit der Station anfangen kann.*)

I (*zustimmend*): Mhm.

S1 blättert zu Forschungsstation 2 und liest die Angabe vor.

S1: Material, zwei Handys?

I: Du hast ein Handy und ich hab das andere Handy.

S1 liest weiter.

S1: Zwei Ke-ra-mik. Ke-ra-mik?

I: Keramik.

S1: Hoppala. (*liest weiter*)

S1: (…) In-ter-aktion mit Mobil-funk-strahlung. Was, ok.

I: Verst…, Ahm hast du das verstanden?

S1: Ja. (*liest weiter*)

S1: Mobilfunkstrahlung, was ist das?

I: Schau einmal, was du da für Informationen am Zettel noch hast.

S1: Ok. Ja, also (…) (*liest die Angabe nochmal durch*)

S1: Ok, das war jetzt nicht da. (*liest Zusatz-Info Kästchen durch*) (…) emitt- emittert.

I: Emittiert - emittiert heißt das.

S1: Ok. (…)

I: Was überlegst du gerade?

S1: Ja, wie ich das jetzt machen muss, genau. (*Liest*) bedecke das Handy von allen Seiten, ah so, dass ich das jetzt zum Beispiel da rauf legen muss? Oder so?

S1 ist sich unsicher.

I: Wenn du nicht genau weißt wie du weiterkommst, kannst du einmal einen Tipp anschauen. (*Zeigt auf das Kuvert mit den gestuften Lernhilfen*)

S1 öffnet das Kuvert und liest Tipp 1.

S1: Ok.

I: Wir rufen es dann einfach mit meinem Handy an, ok?

S1: Mhm.

I: Ok, passt.

S1: Soll ich das jetzt alles herumwickeln? Oder (…) weil da steht, wickle die Folien bzw. (…)

I: Schau einmal da (*zeigt zur Anleitung auf den Abschnitt „mit dem jeweiligen Material umgeben“*)

S1: Aso, ok. (…) (*liest Tipp 1 nochmal durch, wirkt unsicher*)

I: Ok, ahm (…) ok, was ist, was ist dir nicht klar jetzt?

S1: Was da jetzt der größere Topf ist. Ich glaube der da. (*zeigt auf einen der beiden Keramik-Töpfe)*

I: Ok, ich, ich helfe dir jetzt einmal ein bisschen.

S1: Ok.

I: Ahm, ich glaube, dir ist ein bisschen unklar, dass du es hintereinander testen musst, oder? (…) Also jedes Material für sich testen.

S1: Ja das weiß ich.

I: Also nacheinander, also zuerst das eine, dann das andere.

S1: Mhm, ja.

I: Voll. Und was machst du jetzt? Jetzt hast du es gerade (…)

S1 hat das Handy mit Silbergitter-Stoff umwickelt.

S1: Eingewickelt.

I: Genau. Jetzt testen wir das Material als erstes.

S1: Ok. Also (…)

I: Bevor wir es, (…)

I meinte damit, bevor das Handy in den Keramik-Topf gelegt wird.

I: Ok?

S1: Ok passt.

I: War das ein bisschen unklar, oder?

S1: Ja, weil da steht dann, achte darauf, dass die beiden (…)

I: Ja, ok, passt. Mhm, ok. (…) (*notiert sich, dass der Tipp 1 nicht verständlich ist*)

I: Ok passt, ahm, sagst du mir deine Nummer? Dann ruf ich das Handy an.

S1: Ja. (*sagt die Nummer an*)

I ruft das mit Silbergitter-Stoff umwickelte Handy von S1 an und der Anruf funktioniert nicht.

S1 liest die Überschrift zu „Was konntest du beobachten?“

S1: (…) War das Kera-mik? Oder so?

I (*verneinend*): Mh-mh. Das war Silber, Silbergitter-Stoff.

S1: Ok. Ahm, (…) dass es nicht gegangen ist, anzurufen?

I: Du kannst schon auch schauen, vielleicht findest du einen Tipp, der dir hilft.

S1: Ok.

S1 liest den Tipp 2 der gestuften Lernhilfe durch.

S1: Also, es wurde reflektiert? Ja.

I: Und deine Beobachtung, dass es nicht gegangen ist, das kannst du auch aufschreiben.

S1: Ok.

I: Weil das hast du gesehen.

S1: Ja.

S1 trägt in das Kästchen ihre Beobachtungen ein. Glocke ertönt.

S1: Soll ich das einfach da reintun? (*meint das Edelstahlgewebe*)

I: Mhm, ja.

S1 umgibt das Handy mit dem Edelstahlgewebe. I ruft das Handy an und der Anruf funktioniert nicht.

S1: Ok, also es ist wieder nicht gegangen. (…) Edelstahlgewebe, oder?

I: Mhm.

S1 notiert sich die Beobachtung.

S1: Soll ich es jetzt einfach reinlegen? (meint die Kartonschachtel)

I: Wenn du, wenn du ahm überlegen musst, oder ahm, nicht mehr weiterweißt, dann probiere immer zuerst, dass du das was da steht, nochmal probierst zu lesen.

S1: Ok. (*liest Anleitung nochmal durch.*)

I: Ok?

S1: Ja.

S1 legt anschließend das Handy in den Karton und verschließt ihn. Der Anruf funktioniert und das Handy klingelt.

S1: Ah so, jetzt habe ich das da falsch hingeschrieben.

S1 notierte sich die Beobachtung zum Karton beim Kunststoff. Macht einen Pfeil zum richtigen Kästchen.

S1 Legt das Handy in die Kunststoff-Box. Der Anruf geht durch und S1 notiert sich die Beobachtung.

S1: Ok.

Anschließend legt S1 das Handy auf die Alufolie und schlägt die Seiten der Folie um das Handy. Die kurzen Seiten des Handys bleiben frei und sind nicht mit Material bedeckt. Der Anruf funktioniert.

I: Schau, dass es von allen Seiten mit Material bedeckt ist. Lies dir die Tipps nochmal durch.

S1: Ah so, ok.

S1 liest den Tipp 1 und umwickelt dann das Handy von allen Seiten mit der Alufolie. Das Handy wird nochmals angerufen. Der Anruf kommt nicht durch. S1 notiert sich die Beobachtung.

I: (?)

S1 liest „Wie kannst du dir deine Beobachtungen erklären“

S1: Hmm.

I: Also, ich meine jetzt noch zu dem Punkt.

S1: Ah so, ja Alufolie, da wird es wieder reflektiert? (…) Soll ich jetzt das Kera-mik auch noch machen?

I: Was steht denn?

S1: Was konntest du beobachten.

I: Und davor? (…) Also wenn du dir das jetzt da anschaust? (*Zeigt auf die Kästchen mit den Materialien, die schon getestet wurden*)

S1: Dann, dass es, ahm, transmittiert, wahrscheinlich?

I: Aber, du hast jetzt alles durchgeführt da (*zeigt auf Liste*) und das noch nicht (*zeigt auf leere Spalte, bei Keramik*).

S1: Ja?

I: Was glaubst du? Ist es, oder, was überlegst du jetzt?

S1: Ja, ich überlege mir, dass das dann, wenn ich es zum Beispiel jetzt da reintue, das Handy, dass es auch wieder funktionieren wird?

I: Aber weißt du es, wenn du es nicht gemacht hast?

S1: Nein?

I: Und was, was ist die Aufgabe?

S1: Dass ich es halt ausprobiere.

I: Ja.

Beide lachen.

S1 legt Handy in einen der beiden Keramik-Töpfe und stellt den anderen kopfüber darauf. I ruft das Handy an und der Anruf funktioniert. S1 notiert sich die Beobachtung.

S1 liest „Wie kannst du dir deine Beobachtungen erklären?“

S1: Also, dass, wenn das von allen Seiten jetzt vollgas bedeckt ist, dass das beim Handy ankommt, dass es reflektiert und wenn es jetzt wo drinnen liegt, also dass es transmittiert?

I: Schreib auf was, was du glaubst, ja?

S1 Schreibt die Erklärung auf

S1: Ok, Forschungsstation 3.

S1 liest die Angabe von der Forschungsstation 3 vor. Danach liest S1 das Material und die Anleitung durch. I packt das Thermometer aus und S1 füllt beide Gläser mit Wasser. S1 liest nochmal die Anleitung zum Versuch durch.

S1 misst die Temperatur des Wassers im ersten Glas.

S1: 23°? Normal (…) Nein. (…) 2,3? (…) Ich weiß es nicht.

I: 20 sind da. (*Zeigt am Thermometer wo die 20° Linie ist*)

S1: Ok. Mhm. Das heißt 23.

Notiert sich die 23° im Kästchen bei „Glas ohne Alufolie“ und „Glas mit Alufolie“.

S1: Glas mit Alufolie (…) Muss ich das dann zuerst schon herumtun? Weil (…)

I: Das ist der erste Schritt. (*Zeigt auf die Messung der Temperatur*)

S1: Ja, das habe ich jetzt gemacht.

Liest Angabe nochmal durch und umwickelt das Glas mit Alufolie. Dabei sind ein paar Stellen noch nicht ganz umwickelt.

S1 seufzt.

Öffnet die Tür des Mikrowellenofens und stellt das Glas ohne Alufolie hinein. I macht S1 beim Reinstellen der Gläser auf das nicht sachgemäß umwickelte Glas aufmerksam.

I: Das (…) Ich sag es dir nur dazu jetzt, weil sonst ist das blöd, dass muss überall, also überall abschließen (*zeigt auf Alufolie*) und überall glatt sein. Also es darf nicht sowas wegstehen, sondern es sollte dann am Ende ganz, ahm, glatt sein. Weißt du was ich meine?

S1: Mhm.

I: Ok.

S1 versucht die Alufolie besser ums Glas zu wickeln.

I: Wenn du noch eine Alufolie brauchst, dann kannst du dir von da noch die nehmen. (*Greift zum anderen Tisch und gibt S1 mehr Alufolie)*

Beim Einwickeln kippt das Glas und es rinnt etwas Wasser raus.

I: Hoppala, macht nichts. (…) Ok passt.

S1: Passt?

I: Mhm, das ist besser. Ja.

S1: Dann, stell ich beide Gläser (…)

S1 stellt die Gläser in den Mikrowellenofen und startet das Gerät. S1 stellt die Zeit mit dem Drehregler auf unter 1 Minute ein und liest währenddessen die Anleitung weiter.

I unterbricht die Zeit, nachdem das Wasser sichtbar zu sieden begonnen hat. S1 öffnet die Mikrowellentür

I: Vorsicht, heiß.

S1 nimmt beide Gläser aus der Mikrowelle und misst zuerst die Temperatur des Wassers vom Glas ohne Alufolie. S1 notiert sich den Wert.

S1: 79.

S1 entfernt die Alufolie vom zweiten Glas und misst auch dort die Wassertemperatur.

S1: 33.

S1 liest die Aufgabe zur Begründung und gleich danach die Zusatz-Info durch.

S1: (…) Strahlungsenergie in Wärme-n? Wärmen-, Wärm-energie? (*liest weiter*)

S1: Also, durch die, hm (…) wegen dem Glas?

I: Brauchst du einen Sessel?

S1: Nein es geht schon. (…) Glas mit Alufolie hat weniger Temperatur, als das ohne dem, weil das reflektiert hat?

I: Wenn du dir unsicher bist, kannst du auch versuchen die Tipps zu lesen.

S1 packt die Tipps aus dem Kuvert und liest die Tipps der Reihe nach vor. Nach lesen des 2.Tipps.

S1 (*lacht*): Naja.

I: Dann lies dir den dritten Tipp durch.

S1 liest dritten Tipp.

S1: Aber das ist jetzt eh schon die Erklärung zu dem, oder?

I: Mhm.

S1: Eigentlich (…) Muss ich es jetzt nochmal in meinen eigenen Worten dazuschreiben?

I: Nein passt schon, musst du jetzt nicht. (…) Hast du noch Fragen?

S1: Nein? Das finde ich war jetzt ziemlich gut erklärt, also wie man es machen muss und so.

I: Ok super, danke. Sowas kannst du immer dazusagen, also wenn du dir denkst, dass es nicht so gut erklärt ist, oder wenn du dir denkst, das ist irgendwie schwierig, oder schlecht formuliert, du kannst alles einfach sagen. Wirklich.

S1: Ok, nein das war finde ich jetzt gut.

I: Ok super.

S1 blättert nach vor zur Forschungsstation 1 und sucht im Raum danach.

I: Das ist dahinten, schau. (*lacht*)

S1: Ich les den Text gleich. (*Beginnt bei Material zu lesen*)

S1 legt die Schokolade mit den Rillen nach oben auf den Teller.

S1: (…) Miss die Zeit mit einer Stoppuhr.

I: Da kannst du dein Handy nehmen.

S1 stellt den Teller in die Mikrowelle. Währenddessen betritt Schüler 2 den Raum. Ihm wurde mitgeteilt, dass er zur Testung kommen soll. I teilt ihm mit, dass er etwas später geholt wird, da die Durchführung gerade im Gange ist.

S1 schaltet die Mikrowelle ein.

S1: Muss ich das jetzt messen? Also wenn das eh so ist, mit den 45 Sekunden?

I: Passt schon so, hätt ich gesagt.

S1 liest die Anleitung weiter.

I: Vorsicht, falls der Teller heiß ist.

S1 nimmt den Teller aus dem Mikrowellenofen.

S1: Wo muss ich da jetzt den Abstand messen? (…) Das ist jetzt gerade ein bisschen unklar.

I: Ok, ja. Voll. Ich drehe dir die Schokolade um, dass du die geschmolzenen Stellen besser siehst. Ok? Und falls dir noch etwas unklar ist, dann schau dir den Tipp an.

S1 liest die Tipps durch.

Eine Freundin von S1 klopft an, da beide den Bus nachhause nehmen müssen. Sie setzt sich in den Raum und wartet auf S1.

S1: Miss mit einem Lineal den Mittelpunkt (…) wo ist der Mittelpunkt?

I: Von den geschmolzenen Stellen einfach, irgendwo wo es geschmolzen ist, also es muss nicht der Mittelpunkt sein, ok?

S1: Mhm.

I: Also ist es unklar, dass es steht vom Mittelpunkt?

S1: Ja. Also ich soll einfach von da bis da messen. (*Zeigt auf der Schokolade von der einen zur anderen geschmolzenen Stelle*)

I: Mhm. Oder von der zu der. (*zeigt auf zwei andere geschmolzene Stellen*)

S1 misst den Abstand.

S1: Das sind 7 cm.

I: Ok.

S1 liest die Aufgabe zur Ermittlung der Wellenlänge aus dem Experiment durch.

I: Da sind sonst noch die Tipps, falls du (…)

S1: Ok. Aber wenn ich jetzt den Tipp 3 aufmache, dann weiß ich ja schon die Lösung oder?

I: Schau dir mal an, was da steht. (*zeigt auf die Zusatz-Info*)

S1 liest den dritten Tipp zur Durchführung des Experiments durch.

S1: Ok, das hab ich.

I: Es gibt noch mehr Tipps. Die liegen da.

S1: Ah so. Die sind alle von der? Ok.

Beide lachen.

I: Also da ist immer die Überschrift. Für was der Tipp ist, also bei was er dir hilft.

S1: Ok. (*lacht*)

S1 liest ersten Tipp zur Ermittlung der Wellenlänge und glaubt, die Zusatz-Info schon gelesen zu haben. Liest dann gleich den 2. Tipp.

S1: Aah.

I lacht

S1: Also, es ist immer das (…) nein. Wie soll ich das sagen (…) einfach immer der (…) die Messung, von dem ist das Doppelte ist die Wellenlänge, von dem was geschmolzen ist. (…) Muss ich das jetzt aufschreiben?

Beide lachen.

I: Ja bitte.

S1 schreibt den Satz auf, ohne den genauen Wert der Wellenlänge zu notieren.

S1 liest die weitere Aufgabenstellung durch.

S1: Die halbe Wellenlänge? Das ist dann da, oder? (*zeigt auf einen Punkt in der Abbildung*)

I: Hast du dir das schon durchgelesen? *Zeigt auf 1. Info-Kästchen*.

S1: Nein. (*liest sich Info durch*)

I: Was überlegst du gerade?

S1: Ja, wie ich das jetzt am besten einzeichnen soll. Weil, das ist ja das Wellental, das heißt, die Hälfte ist damit eigentlich da, wo das eingezeichnet ist. (…) Ich zeichne das jetzt einfach mal ein.

I: Genau. (…) Wie lange braucht ihr da hin? (*Meint zum Bus*)

S1: Nicht so lang.

Freundin: In etwa 10 Minuten.

I: Aber es macht wirklich nichts, wenn du gehen musst, dann lassen wir es einfach derweil, bis jetzt, so bis dahin, ok?

S1: Ok.

I: Es ist wirklich nicht mehr viel. (…) Es wären da auch Tipps gewesen nämlich. Also das ist die Abbildung, also wie du das dann einzeichnen kannst. Und der letzte Schritt, aber das machen wir jetzt nicht mehr, ist, dass du es dir dann noch zusätzlich berechnen kannst.

S1: Ok passt.

I: Wenn du den Tipp jetzt einfach auffaltest dann kannst du dir anschauen, wie die Abbildung beschriftet ist.

S1: Ach so, also da, da und da sind immer die Hot Spots.

I: Genau, und die Wellenlänge, also das, was du eingezeichnet hast, das wäre mehr als die normale Wellenlänge und die Hälfte von dem, wäre zum Beispiel, der Bereich.

S1: Ach so. Ok.

I: Ok passt. Also danke, danke vielmals. Schau ich hab noch eine Kleinigkeit für dich. (*I überreicht S1 eine Tafel Mannerschnitten*) Ich hoffe ihr erwischt noch euren Bus. Und danke auch fürs warten. (…) Und hat es dir gefallen oder, war es voll schwer, oder?

S1: Nein, nur bei dem war es ein bisschen kompliziert.

I: Beim ersten, jaa, da waren die Anweisungen nicht ganz eindeutig.

S1: Ja aber sonst hat es schon gepasst finde ich.

I: Danke.

S1: Danke, tschüss.

Think Aloud – Schüler (S2)

S2 Liest den Text durch. Schaut sich danach die Abbildung des elektromagnetischen Spektrums an.

S2: Schaut witzig aus. (*Meint das Spektrum*)

Beide lachen. S2 blättert auf die nächste Seite.

S2: Ok, Partnerarbeit, das soll mir nichts machen.

Liest die Aufgabenstellung durch.

S2: Ok. (…) Soll ich das vom, vom Text?

I: Wenn du dir nicht sicher bist, kannst du ja noch beim Tipp nachschauen.

S2: Kann ich hinten auch nachschauen? Also, beim Zettel noch einmal? (*Meint die erste Seite, den Text zu elektromagnetischer Strahlung*)

I nickt zustimmend.

S2: Ok.

S2 blättert zur 1. Seite und liest gewisse Bereiche nochmal durch. Notiert sich den ersten Merksatz.

S2: Mikrowellenstrahlung wird, für die Kommunikation am Handy, benutzt. (…) Also (*schreibt auf*)

S2 blättert zwischen Seite 1 und 2 hin und her.

S2: Und zwei (…)

S2 *blättert auf Seite 1 und liest „wird auf Grund ihrer unterschiedlichen Wirkungen", murmelt etwas, blättert wieder um.*

S2: Ach so, mein (?), das ist, was anderes, komisch.

I: Hm?

S2: Das ist so komisch, ahm, so laut zum mitdenken.

I (*lachend*): Ja ich weiß, gö? Probiere, dass du halt alles in Worte fasst.

S2 liest laut vor, welche Bereiche vom Text er gerade erneut liest.

I: Was überlegst du gerade?

S2: Also verschiedene Formen, von verschiedenen Formen, die Einteilung erfolgt über das elektromagnetische Spektrum.

S2 blättert zwischen den Seiten und notiert sich den Merksatz.

S2: Hmm, kommt noch etwas vor? (*meint damit die Wörter, die bei der Formulierung der Merksätze enthalten sein müssen*) Hmm, Strahlung haben wir noch.

Blättert hin und her, liest Bereich aus dem Text und notiert sich dazu den dritten Merksatz.

S2: So, und zwar (…)

S2 liest den Teil „Experimentieren mit Mikrowellen" durch.

S2: Soll ich die machen, alle, oder?

I (*zustimmend*): Mhm.

S2 steht auf und sucht die Forschungsstation 1.

S2: Und wo ist eins? Ah, da ist eins. (…) Da (…) Soll ich das machen, ist das das?

S2 beginnt den Text zu Forschungsstation 1 zu lesen. Liest das benötigte Material und die Anleitung vor.

S2: Also, 600 Watt, 45 Sekunden, im Mikrowellenofen, Lineal, den Abstand zwischen den geschmolzenen. (*Zeigt auf die Schokolade*) Egal, wie groß?

I: Nimm gleich das, das ganze Stück. (*Zeigt auf die Schokolade*)

S2 legt die Schokolade mittig auf den Teller und platziert den Teller im Mikrowellenofen. S2 schließt die Tür des Mikrowellenofens.

S2: 45 Sekunden.

S2 stellt den Drehregler auf die Hälfte zwischen 0 und 1 Minute ein. Der Mikrowellenofen ist nur für ein paar wenige Sekunden eingeschaltet, danach geht er wieder aus.

S2: 45 Sekunden? Hm, das ist eine Minute, gö?

S2 schaltet Mikrowellenofen erneut ein. Das laute Rauschen stört die Aufnahme.

I: 45 Sekunden, das ist (?)

S2: Ja ich meine, ach so (?)

S2: Steht da drinnen, was „Hot Spots“ sind?

S2 liest den Zettel erneut. Der Mikrowellenofen geht aus. S2 sucht den Türöffner.

S2: Das geht nicht auf.

I zeigt auf den Türöffner des Mikrowellenofens.

S2: Ah, da.

S2 Macht die Tür auf und holt den Teller mit der Schokolade heraus.

S2: Das ist ein „Hot Spot“, gö? (…) Da ist ein zweiter. (…) Und jetzt soll ich (notieren?), dass das da auch geschmolzen ist, oder?

I schmunzelt zustimmend. S2 liest sich die gestufte Lernhilfe durch.

S2: Genau in die Mitte von dem? (*meint den „Hot Spot“*) Ich will es jetzt nicht dreckig machen. (*meint das Lineal*)

I: Macht nichts, du kannst es dreckig machen. (*meint das Lineal*)

S2: So.

S2 misst mit dem Lineal den Abstand zwischen den „Hot Spots“

I: Also, nicht genau in der Mitte, vom Rand reicht.

S2: Ok.

I: Das, ahm, das muss ich noch ändern. (*Meint den Tipp der gestuften Lernhilfe*)

S2 (*seufzt*): 8 cm würde ich sagen.

S2 liest die Aufgabenstellung zur Ermittlung der Wellenlänge durch.

S2: Ah, ich hab den Stift vergessen. (*holt den Stift vom anderen Tisch*)

S2: Wie kann ich das herausfinden? Das werde ich wahrscheinlich bei den Tipps finden.

S2 öffnet das Kuvert mit den Tipps und liest den Tipp durch.

I: Was denkst du dir gerade?

S2: Hm, beim ersten ist es einmal nicht draufgestanden, jetzt muss ich beim zweiten schauen. (*Seufzt*) Also „Wellenlänge ermitteln“, das wird dann wahrscheinlich das sein.

S2 liest den Tipp 1 laut vor.

S2: Schauen wir mal da.

S2 liest, anstatt die 1. Zusatz-Info zu lesen, die Tipps 1, 2 und 3 von den Hinweisen zur Durchführung des Experiments vor.

S2: Nein, das war es einmal nicht. Jetzt schauen wir da noch einmal bei dem zweiten. (*meint den 2. Tipp zu „Wellenlänge ermitteln“*)

S2 liest den Tipp durch.

S2: Also, das nachher mal 2. Wenn das die Hälfte ist, also wenn das bei mir 8 cm waren, dann ist das 16 (…) 16 cm.

S2 notiert den Wert für die Wellenlänge λ und liest die nächste Aufgabenstellung durch.

S2: Alsoo, die halbe Wellenlänge?

Die Schulglocke ertönt und S2 lacht in diesem Moment.

S2: Also ich hab jetzt gerade auf das Läuten reagiert.

Beide lachen.

S2: Eine halbe Wellenlänge, also (…)

I: In einem Tipp ist gestanden, lies dir die 1. Zusatz-Info durch. Hast du dir die durchgelesen?

S2: Mhm?

I: Wo steht die?

S2: Ist das das da? (*zeigt auf die gestuften Lernhilfen*) Ach so da, das da!

S2 liest die 1.Zusatz-Info durch.

S2: Oh, ok ja da brauche ich eh das Lineal.

S2 nimmt das Lineal und versucht es von der geschmolzenen Schokolade zu säubern. Schleckt sich die schokoladigen Finger ab. Beide lachen.

S2: Schauen wir einmal, dass ich da eine schöne, gerade Linie herausbekomme. (…) Vom tiefsten Punkt, das weiß ich aus Physik, gescheit (?) auch (…) 3,8, die Hälfte, Eins kommaaa, fff (…) 1,9.

S2 misst den Abstand vom tiefsten Punkt der sinusförmigen Welle, bis zum höchsten Punkt, dieser Abstand ist 3,8 cm lang. Anschließend misst er die Hälfte davon und zeichnet dann an diesem Punkt eine waagrechte Linie.

I: Was genau, also, ahm, wo genau fängts an und wo hört es auf? (*Meint die Linie, die S2 mit lambda eingezeichnet hat*)

S2: Also, wo es nachher wieder rauf geht. Die Welle. (…) Asoo, dann ist das aber da (*zeichnet den genauen Beginn ein*) Muss das genauso eingezeichnet werden wie da? (*zeigt auf Skizze der 1. Zusatz-Info*)

I: Was ist da eingezeichnet?

S2: Das Wellental. Der Wellenberg? Und in der Mitte ist das (…)

I: Lambda. Und was musst du einzeichnen?

S2: Ach so, an denen „Hot Spots“ entstehen können.

I: Und, was noch?

S2: Eine halbe Wellenlänge. (…) Das, wie das ausschaut, das kapier ich grad nicht ganz.

S2 liest den 1. Tipp der gestuften Lernhilfe durch.

S2: Muss ich, Wellenberg und Wellental auch beschriften?

I: Was da steht. (*zeigt auf die Angabe*)

S2: Ok.

S2 liest den 2. Tipp.

S2: Ok, also, wird da ein „Hot Spot“ sein? Und da.

I: Mhm.

S2: Also, (*wiederholt die Angabe*) soll ich es nachher mit so einem, einfach machen (*zeichnet einen Kreis um den Bereich eines Wellenberges*)

I: Ja genau, einfach beschriften.

S2: Und unten auch. (*meint die Wellentäler*)

I: Mhm. Genau.

S2: Da auch, oder? Ja, ist ja egal. (*meint zweites Wellental, zeichnet dieses auch ein*)

S2 seufzt.

S2: Und unten auch noch einmal hinschreiben? (*meint die Beschriftung „Hot Spot“*)

I: Passt schon, das erkenne ich schon, ja.

S2: Ja, dann habe ich das auch erledigt.

S2 blättert um und liest die Angabe zur Berechnung der Wellenlänge. S2 ist kurz davor zu niesen.

I: Gesundheit.

S2: Niesen. (*lacht*) Jetzt kommts. (…) Ah egal.

S2 will weiterlesen, muss jetzt wirklich niesen. Lacht.

S2: Ah, es liegt genau so deppat in der Nase.

S2 niest.

I (*lacht*): Gesundheit.

S2: Danke.

S2 liest die Angabe weiter und schaut, wo der Wert für die Frequenz f zu finden ist.

S2: Steht das da hinten oben?

I: Da, auf der Hinterseite (*meint den Mikrowellenofen*), da muss es irgendwo oben stehen.

S2 sucht und kann es nicht finden.

S2: Irgendetwas mit f, also (…) die Frequenz.

I: Ok, es ist das. (*zeigt auf den Wert*)

S2: Aso.

I: Was denkst du dir, wenn du das liest?

S2: Das wird größer. Oder kleiner.

I: Du kannst es, ahm, du hast es jetzt nicht erkannt als f oder?

S2: Nein. Weil da steht Herz und (…)

I: Ok, das wollte ich jetzt nur fragen. Mhm.

S2: Also, jetzt haben wir das aufgeschrieben, dann lesen wir weiter.

S2 hat sich den Wert an dieser Stelle noch nicht notiert. S2 liest die Aufgabenstellung zur Berechnung weiter durch.

S2: Also, mit Hilfe von dem, vorigen, oder?

I (*verneinend*): Mh-mh. (…) Schau, schau noch, schau noch einmal Schritt für Schritt was da steht.

S2 liest erneut die Aufgabenstellung von Beginn an durch.

I: Was machst du gerade?

S2: Umformen? Ah, und jetzt forme ich es um (…) Mhm, das müsste eigentlich (…)

I: Du hast eh genug Zeit, also du musst dich nicht stressen.

S2: Ok, schauen wir mal nach dem Tipp. Das wahrscheinlich (*holt den Tipp zur Berechnung der Wellenlänge heraus*)

I: Mhm.

S2 liest sich den 1. Tipp und anschließend das 2. Zusatz-Info Kästchen durch.

S2: Das war hinten, das weiß ich noch, jetzt weiß ich das auch. Ok (...) (*seufzt*) Also, ich mach gleich weiter, wenn ich schon dabei bin (*meint mit dem Lesen der Tipps*)

Liest den 2. Tipp der gestuften Lernhilfe zur Berechnung der Wellenlänge durch. Liest Teile davon erneut durch.

S2: Also, wie v, wie viel Herz hat jetzt dann f?

I: Das ist hinten auf der Mikrowelle notiert.

S2: Ah so, genau.

S2 geht noch einmal hinter den Mikrowellenofen, um sich den Wert zu notieren.

S2: Große Zahl.

I lacht.

S2 seufzt.

S2: Ah, dann wird das wahrscheinlich sein, A (*meint lambda*) ist gleich f mal c. Oder?

I: Schreib dir auf, was du glaubst. Und wenn du dir nicht sicher bist, dann probiere, dass du mit dem Tipp das schaffst.

S2: Was war denn zuerst da, nicht, dass ich es nicht falsch mache und nachher länger brauch. Jetzt hab ich das (?)

S2 liest sich den letzten Tipp zur Berechnung der Wellenlänge durch.

S2: Ah so, ich lese immer Alpha!

S2 liest weiter.

S2: Ah so, nicht mal, sondern (*meint die Umformung der Gleichung*) c durch f.

S2 schreibt die umgeformte Gleichung auf und setzt sogleich die Werte für c und f ein.

S2 (*seufzt*): Wie muss ich das rechnen?

I: Mit dem Handy einfach, mit dem Taschenrechner.

S2: Ah so. (*tippt die Zahlen in den Handy-Rechner*)

S2 lacht, weil ihm der Stift unter die Mikrowelle gerollt ist.

S2: Das passiert wieder nur mir.

I: Ah, mei.

S2: Alsoo, lambda ist gleich, und zwar (…)

S2 notiert sich den Wert für die Wellenlänge λ, vergisst bei der Rechnung jedoch auf drei Nullen und statt 0,1224 m, schreibt er 122,45 auf. Er vergisst dabei auch auf die Einheit.

S2: Dann hab ich das auch. Hab ich etwas vergessen? Nicht.

Blättert um. S2 sucht den Stoppel vom Stift.

I: Der ist auch unter der Mikrowelle, glaub ich.

S2: Ah!

I: Da dort, siehst du ihn? (*S2 nimmt ihn*) Ok passt.

S2: So. (*liest Überschrift von Forschungsstation 2*)

S2: Da drüben.

S2 geht zu der 2. Station. Nimmt sich den Sessel.

S2: Muss ja nicht die ganze Zeit stehen.

I: Ja voll, setz dich hin!

S2 liest die Angabe vor und das benötigte Material und die Anleitung.

S2: Zusatz-Info, die lies ich mir gleich durch.

S2 liest sich das Zusatz-Info Kästchen durch.

I: Mit meinem Handy ruf ich dann einfach deines an.

S2: Ok.

S2 legt sein Handy auf das Edelstahlgewebe und legt beides in die Kartonschachtel.

S2: Ist das wurscht, wenn ich eine Gummihülle oben hab? (*meint auf seinem Handy*)

I: Das ist egal, ja.

I ruft das Handy von S2 an. Der Anruf geht durch. S2 kommt währenddessen drauf, dass jedes Material einzeln getestet werden soll und nicht zwei gleichzeitig.

S2: Ah so, muss ich das (?)

S2 nimmt das Handy aus der Kartonschachtel und testet nur das Edelstahlgewebe.

I: Was hast du dir jetzt gerade gedacht gehabt, wie du gesagt hast „ah so“?

S2 (*lacht*): Falsch gemacht. Trottel.

I (*lacht*): Ok, und was genau?

S2: Ich hätte es mir zuerst durchlesen sollen und dann noch einmal machen.

I: Ok (…) Also, dann rufe ich jetzt an.

I ruft das mit Edelstahl umwickelte Handy an. Der Anruf funktioniert nicht.

S2: Empfang ist da. Sollte normalerweise gehen. Noch einmal?

I: Soll ich noch einmal anrufen?

S2 (*zustimmend*): Mhm.

I ruft das umwickelte Handy erneut an und der Anruf funktioniert wieder nicht.

S2: Ahaa. (…) Ich hätte gedacht, dass liegt schon wieder am (*Bambus*?)-Internet an der Schule.

I lacht.

I: Also, was hast du dir jetzt gerade gedacht? Was war dein „Aha“-Moment?

S2: Das wird da wahrscheinlich nicht durchgehen, die Mikrowellen. (…) Und das ist?

I: Edelstahlgewebe.

S2: Ok.

S2 notiert sich seine Beobachtungen zum Versuch mit dem Edelstahlgewebe.

S2 nimmt den Silbergitter-Stoff

I: Das ist, ahm, Silbergitter-Stoff.

S2 umwickelt das Handy mit dem Stoff und das Handy wird angerufen.

S2: Ich glaube, dass es da auch nicht durchgehen wird.

Der Anruf funktioniert nicht.

S2 schreibt sich die Beobachtung auf.

S2: Ok, Keramik. (…) Das da. Soll ich es reinlegen oder so zu?

I: Mhm. Aber wenn du dir nicht sicher bist, kannst du den Tipp auch lesen.

S2 legt das Handy in einen Topf und liest sich dann den Tipp durch.

I zeigt auf den Teil vom Tipp, bei dem die Durchführung des Experiments mit den Keramik-Töpfen beschrieben ist.

I: Also der Teil.

S2 liest sich den Tipp still durch.

I: Was hast du jetzt gerade gelesen?

S2: Ach so! Ah so muss ich (…)

I: Na du musst jetzt nicht (nochmal vorlesen), aber, aber einfach nur in eigenen Worten (…)

S2: Also, muss ich den jetzt reintun (*Handy in Topf*) und den kleineren rein stellen (*anderen Topf drauf stellen*).

I: Ok. Ok, passt.

S2: Ok, schauen wir mal, ob das funktioniert.

S2 verschließt das Handy mit den Keramik-Töpfen. Der Anruf geht dieses Mal durch und das Handy klingelt.

S2: Aber wieso, wenn das ja verschlossen war. (*meint die beiden Töpfe*) Also muss das entweder wo durchgehen, oder (…) wahrscheinlich ist da so viel Platz (*meint die Stelle, an der die Töpfe abschließen*), aber eigentlich ja nicht. Witzig.

S2: So, da können wir, Keramik (*schreibt Beobachtungen auf*)

I: Ok.

S2: Alufolie befürchte ich auch, dass es wahrscheinlich nicht gehen wird.

S2 umwickelt das Handy mit Alufolie. Der Anruf funktioniert nicht.

S2 schreibt sich die Beobachtung zur Alufolie auf.

S2: Kunststoff. Mhm die Box, schade, dass da nichts drinnen ist zum Essen.

Beide lachen.

I: Ok.

Der Anruf funktioniert und das Handy klingelt.

S2: Das geht auch durch. Aber die ist komplett verschlossen!

S2 notiert sich seine Beobachtungen.

S2: Karton. (*legt Handy in Kartonschachtel*) Das geht, weil das (?).

I: Ja, ok, passt.

I ruft Handy an, der Anruf funktioniert.

S2: Ahm, hab ich das vorher mit dem (*meint Edelstahlgewebe*) eingewickelt gehabt und ich hab es dann da reingelegt (*meint Kartonschachtel*).

I: Ja, ich sage es dir jetzt dazu. Es war nicht ganz eingewickelt.

S2: Ah so, ok.

S2 liest die Frage zur Erklärung der Beobachtungen vor.

S2: Das wird bei den Tipps drin stehen, weil, ich habe keine Ahnung wie das gegangen ist. Ich mein, die drei, bei den drei Sachen, kann ich mir es fast vorstellen, weil das irgendwie ein bisschen metallisch ist.

S2 liest sich den 2. Tipp zur Erklärung der Beobachtungen durch.

S2: Ah, ja das wird reflektiert.

S2 liest sich den 3. Tipp durch.

S2: Ok, dann wird es bei Interaktion (*mit Metallen*) wahrscheinlich reflektiert. Ja, also, wenn ich jetzt drüber nachdenke, ist das ja voll witzig. Weil dann lasst das einfach, wie, wenn es sich öffnet und durchlasst. Ok (…)

I: Was, wenn du dir was, was öffnet? Also, das habe ich nicht ganz verstanden.

S2: Ja wie wenn da, dann nachher so, so kleine Eingänge sind, wo es durchgeht.

I: Mhm.

S2: Also, was man mit dem menschlichen Auge wahrscheinlich nicht sieht, aber mit dem Mikroskop wird es wahrscheinlich, besser zu verstehen. (…) Kann ich drei Metalle schreiben?

I: Ja, genau schreib es so einfach.

S2 schreibt sich die Erklärung zu den Beobachtungen auf.

S2: Kann ich, ahm, kann ich bei den allen dreien Kunst-, oder ich schreib (*schreibt die Materialien einzeln auf*) durchlassen, transmittiert, oder?

I: Mhm, ja.

S2 (*seufzt*): Hm, nächste Nummer fertig.

S2 geht zur Forschungsstation 3 und liest die Angabe und den Ablauf des Versuchs vor. Füllt beide Gläser mit Wasser und misst die Temperatur mit dem Thermometer. Liest die Anleitung weiter vor.

S2: Am Anfang werden sie wahrscheinlich beide gleich viel haben, würde ich einmal sagen.

I: Ja. Und weil die Zeit knapp ist, miss jetzt einfach nur von einem Glas, weil, es hat eh die gleiche Temperatur, also der Temperaturunterschied ist sehr gering.

S2: Sind 2,1, Anfangstemperatur.

I: Ahm,

S2: Oder muss ich noch ein bisschen warten?

I: Nein, ahm, es ist, das ist 21, die Skala.

S2: Asoo, ah.

S2 notiert sich die Werte und liest nochmal vor, was anschließend zu tun ist. Umwickelt nun ein Glas mit Alufolie. Durch das Umwickeln versteht man das Gesagte nicht so gut.

S2: Was soll denn (?), wie tut man da (?) weil es sollen ja keine Kanten, das (?)

I: Ahm, was steht da? (*Zeigt auf die Anleitung, auf das Wort „vollständig“*)

S2: Ah so. (*umwickelt das Glas besser/genauer und von wirklich allen Seiten*)

I: Dass du es so dann andrückst da einfach (*meint Alufolie, die an das Glas gedrückt werden soll, um Kanten zu vermeiden*) Es sollte noch ein bisschen glatter sein.

S2 drückt die Alufolie etwas mehr an das Glas.

S2: Geht so?

I: Ja, genau. Genau, passt schon.

S2 stellt beide Gläser in den Mikrowellenofen.

S2: Das vermute ich, dass da, mit Alufolie, genau nichts passiert.

I: Mhm.

S2: Wie lange? Hm, 45 Sekunden.

S2 schaltet den Mikrowellenofen ein, stoppt die Zeit nicht, dreht zwischen 2 und 3 Minuten, da der Mikrowellenofen, als S2 ihn unter 1 Minute gestellt hat, sofort ausgegangen ist.

S2: Wurscht. (…) Das war eh schon beim anderen Experiment (*meint Alufolie*)

S2 schreibt schon die Begründung für das Experiment auf. Er notiert sich: „Nachdem Alufolie die Strahlung reflektiert erwärmt sich Wasser nicht“

I greift nach 48 Sekunden ein und schaltet den Mikrowellenofen aus.

I: Ich schalte schon aus ok? Weil, es waren schon (*meint, 45 Sekunden waren schon um*)

S2: Das ist kein Wunder, das ist heiß. (*meint Wasser in Glas ohne Alufolie*) Und das wird wahrscheinlich gleich geblieben. (*wickelt Glas aus*) Nein, das wird sich, um, minimal erwärmt haben.

S2 misst die Wassertemperaturen des Wassers von beiden Gläsern und notiert sich die Werte.

S2: 33 (*notiert die Temperatur des Wassers vom Glas mit Alufolie*)

S2 (*pfeift*): 74 (*notiert die Temperatur des Wassers vom Glas ohne Alufolie*)

S2: Nicht stimmt nicht, minimal. (*spricht hier von der schon vorhin niedergeschriebenen Begründung zum Ausgang des Versuchs*)

S2 bessert „nicht“ durch „minimal“ aus.

S2: Ah, und (*ergänzt die Begründung*). Ja (*murmelt etwas*)

I: Was meinst du?

S2: Nein, beim Geheim-, also bei der Zusatzinfo, das weiß ich schon von vorher. Vom vorigen Experiment.

I: Ok, passt. Wie hat es dir gefallen, oder wie hast, wie bist du mit dem Material zu Recht gekommen?

S2: Naja, es war zum Verstehen gut! Bei ein paar Sachen habe ich halt die Geheim-Tipps gebraucht.

I: Das macht gar nichts.

S2: Aber das, und das war Hinweis genug, dass ich es zusammenbekomme.

I: Ja.

S2: Es war eigentlich witzig, da kann man wirklich selbstständig arbeiten. Weil bei den anderen Versuchen bei uns, musst du alle 10 Sekunden den Lehrer fragen, weil du die Hälfte nicht checkst.

I: Ja.

S2: Ja, finde ich echt cool.

I: Cool, freut mich, voll cool. Und, ahm, also mit den Hinweisen, die dann oben gestanden sind, bist du eh, war es genug? Von der Formulierung her (…)

S2: Hat alles gepasst.

I: Hat gepasst, ja voll cool, danke! Hab für dich auch noch eine Kleinigkeit als Dankeschön.

I überreicht S2 eine Tafel Mannerschnitten.