

Wissenschaftliche Hausarbeit
im Rahmen der Ersten Staatsprüfung
für das Lehramt an Gymnasien im Fach Physik,
eingereicht der Hessischen Lehrkräfteakademie
– Prüfungsstelle Frankfurt am Main –

Entwicklung eines Schülerlabors zum Thema Plastik

Verfasserin:

Annika Teichert

Gutachter:

Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Abgabedatum: 08.12.2022

Danksagung

Da das Schülerlabor zum Thema Plastik ohne die Unterstützung einer Vielzahl von Personen nicht auf die Weise hätte entwickelt und durchgeführt werden können, wie es dies schließlich wurde, möchte ich mich an dieser Stelle bei einigen wichtigen Menschen bedanken. Ich danke zunächst Prof. Dr. Thomas Wilhelm, welcher meine Arbeit betreut und mir bei der Organisation für die Durchführung des Schülerlabors sehr geholfen hat. Zudem danke ich Christoph Kalden, welcher stets mit Ideen und Anregungen zur Optimierung der Experimente zur Verfügung stand sowie Fabian Bernstein, welcher dabei behilflich war, für das Schülerlabor geeignete Objekte mittels 3D-Druck aus PLA herzustellen.

Ich danke Krissi und Reh dafür, dass sie mir als Models für das Forscherheft gedient haben und dadurch letztlich in diesem verewigt wurden. Zudem bedanke ich mich bei meinen Kommilitonen Hannah, Annika, Grace, Ferdo, Marie und Chiara für die Betreuung des Schülerlabors sowie die anschließenden Rückmeldungen zum Schülerlabor.

Zuletzt möchte ich mich noch bei meinen Eltern und meinem Partner Erwin bedanken, welche diese Arbeit für mich korrekturgelesen haben. Insbesondere Erwin gegenüber möchte ich einen großen Dank für das Einbringen seiner Sichtweisen bei schwierigen Entscheidungsprozessen sowie die mentale Unterstützung in der gesamten Zeit der Entwicklung der WHA aussprechen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
Teil I: Theoretische Grundlagen	2
2. Didaktischer Hintergrund	2
2.1. Die Kompetenzbereiche.....	2
2.2. Das Schülerlabor als außerschulischer Lernort	3
2.3. Das Potential des Experimentierens	4
2.4. Einsatz digitaler Medien zum Wissens- und Kompetenzerwerb	6
2.4.1. Das Potential digitaler Medien im Physikunterricht	6
2.4.2. Darstellung der im Schülerlabor genutzten digitalen Anwendungen.....	7
3. Fachwissenschaftlicher Hintergrund	10
3.1. Plastik.....	10
3.1.1. Grundwissen Plastik	10
3.1.2. Umweltaspekte von Plastik	12
3.1.3. Biologisch abbaubare Kunststoffe	13
3.2. Physikalische Eigenschaften.....	15
3.3. Relevanz der physikalischen Eigenschaften von Plastik	22
3.3.1. PET vs. Glas-Flasche	22
3.3.2. Kunststoffe als Brillengläser	23
3.3.3. Kunststoffe in Smartphone-Kameras	24
3.3.4. Kunststoffe als Isolatoren.....	24
3.3.5. Kunststoffe zur Verbesserung der Raumakustik und Schalldämmung	25
Teil II: Praktischer Teil	27
4. Entwicklung des Schülerlabors	27
4.1. Erste Schritte.....	27
4.2. Auswahl der untersuchten physikalischen Eigenschaften	28
4.3. Auswahl der untersuchten Materialien	36
4.3.1. Auswahl der untersuchten Plastiksorten	36
4.3.2. Auswahl alternativer Materialien	40
4.4. Methodische Überlegungen	40
4.5. Entwicklung des Feedbackbogens	42
5. Darstellung des Schülerlabors	44
5.1. Ablauf des Schülerlabors	44
5.2. Ziele des Schülerlabors	45
5.3. Einstiegsphase des Schülerlabors	45

5.4. Station 1: Plastik und die Umwelt	46
5.4.1. Aufbau von Station 1.....	47
5.4.2. Didaktische Überlegungen zu Station 1	50
5.5. Station 2: Plastik in der Optik.....	51
5.5.1. Aufbau von Station 2.....	51
5.5.2. Didaktische Überlegungen zu Station 2	55
5.6. Station 3: Leitfähigkeit von Plastik	57
5.6.1. Aufbau von Station 3.....	57
5.6.2. Didaktische Überlegungen zu Station 3	60
5.7. Station 4: Plastik als Schallschutz	62
5.7.1. Aufbau von Station 4.....	62
5.7.2. Didaktische Überlegungen zu Station 4	65
6. Durchführung des Schülerlabors	67
6.1. Erste Durchführung.....	67
6.1.1. Wahrnehmung der Betreuer*innen zu Lerngruppe 1	67
6.1.2. Rückmeldung der Schüler*innen aus Lerngruppe 1	74
6.1.3. Änderungen aufgrund der ersten Durchführung	76
6.2. Zweite Durchführung.....	77
6.2.1. Wahrnehmung der Betreuer*innen zu Lerngruppe 2	77
6.2.2. Rückmeldung der Schüler*innen aus Lerngruppe 2	83
6.2.3. Änderungen aufgrund der zweiten Durchführung.....	87
6.3. Weitere Anpassungsmöglichkeiten zur Optimierung des Schülerlabors.....	90
7. Fazit	92
8. Quellen	93
8.1. Literaturverzeichnis	93
8.2. Internetverzeichnis.....	96
8.3. Videoquellen, Simulationsprogramme und Musik	98
8.4. Bildquellenverzeichnis.....	98

Anhang

Rechtsverbindliche Erklärung

Kunststoff-Abkürzungsverzeichnis

ACM	Polyacrylat-Kautschuk
DAP	Diallylphthalat
PA	Polyamid
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PF	Phenol-Formaldehyd (PF)
PLA	Poly lactide / Polymilchsäure
PMMA	Polymethylmethacrylat
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PU	Polyurethan
PVC	Polyvinylchlorid

1. Einleitung

Kunststoffe sind aus unserer heutigen Gesellschaft nicht mehr wegzudenken. Es gibt kaum Bereiche, in denen diese leicht zu produzierenden und günstigen Materialien nicht zum Einsatz kommen. Nichtsdestotrotz stehen Kunststoffe in Bezug auf ihre Nachhaltigkeit stark in der Kritik. Aufgrund dessen ist es wichtig, Schüler*innen die Vor- und Nachteile von Kunststoffen aufzuzeigen, um die Ausbildung einer eigenen Meinung zu dieser Problematik zu ermöglichen. Diese soll sie dazu befähigen, an gesellschaftlich relevanten Diskussionen zum Gebrauch von Kunststoffen teilzuhaben und somit ihre politische Teilhabe stärken.

Um einen Teil zu dieser wichtigen Aufgabe beitragen zu können, habe ich mich dazu entschlossen, ein Schülerlabor für die E-Phase zum Thema Plastik zu entwickeln. Dieses soll den Schüler*innen ermöglichen, Kunststoffe aus dem Blickwinkel der Physik zu betrachten. In den verschiedenen Stationen des Schülerlabors sollen die Schüler*innen dafür verschiedene physikalische Eigenschaften von Kunststoffen untersuchen, deren Vor- und Nachteile herausarbeiten sowie daraus resultierende Einsatzgebiete kennenlernen.

Die folgende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung dieses Schülerlabors. Im ersten Teil der Arbeit wird dafür zunächst die notwendige theoretische Grundlage geschaffen, welche sich aus didaktischen und fachwissenschaftlichen Hintergründen zusammensetzt. Anschließend wird im zweiten Teil der Arbeit die Entwicklung des Schülerlabors beschrieben. Hierfür sind in Abschnitt 4 zunächst verschiedene Überlegungen dargelegt, welche für den Aufbau und die Gestaltung des Schülerlabors angestellt wurden. Abschnitt 5 beschäftigt sich anschließend mit der Beschreibung des fertigen Schülerlabors. Erfahrungen der ersten Durchführungen des fertigen Schülerlabors sowie daraus resultierende Anpassungen sind schließlich in Abschnitt 6 festgehalten.

Teil I: Theoretische Grundlagen

2. Didaktischer Hintergrund

2.1. Die Kompetenzbereiche

Die Bildungsstandards, welche von der Kultusministerkonferenz festgelegt werden, bilden für deutsche Lehrer*innen eine entscheidende Grundlage bei der Gestaltung ihres Unterrichts. In ihnen sind die Ziele, welche im Rahmen des Unterrichts sowie zum Erlangen der allgemeinen Hochschulreife erreicht werden müssen, in Form von Kompetenzen formuliert. In den naturwissenschaftlichen Fächern (Biologie, Chemie und Physik) wird hierbei zwischen vier Kompetenzbereichen unterschieden, welche im Rahmen des Unterrichts ausgebaut werden sollen: Erkenntnisgewinnung, Kommunikation, Bewertung und Sachkompetenz¹.

In Bezug auf die Erkenntnisgewinnung sollen die Schüler*innen die Fähigkeit erwerben, Erkenntnisprozesse nachvollziehen und selbstständig gestalten zu können. Hierfür benötigen sie zuallererst eine grundlegende Kenntnis der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen. Ebenso müssen die Schüler*innen Hypothesen und Theorien entwickeln, Experimente planen und durchführen sowie deren Ergebnisse interpretieren und kritisch hinterfragen können. Auch die Fähigkeit zum Umgang mit Modellen sowie die Reflexion der Möglichkeiten und Grenzen dieser sollte für den Ausbau der Erkenntnisgewinnung im Rahmen des Physikunterrichts geschult werden¹.

Für die Aneignung einer ausgebildeten Kommunikationskompetenz müssen die Schüler*innen nach der Kultusministerkonferenz (2020) Kenntnis über die Fachsprache sowie fachtypische Darstellungsweisen und Argumentationsstrukturen erwerben. Neben der Kenntnis von Fachbegriffen zählt hierzu auch die Kenntnis abstrakter Symbole sowie standardisierter Einheiten. Zudem sollten die Schüler*innen dazu in der Lage sein, die erworbenen Kenntnisse zur Erschließung, Darstellung und zum Austausch fachbezogener Informationen kompetent nutzen zu können¹.

Der Kompetenzbereich der Bewertung beinhaltet „die Kenntnis von fachlichen und überfachlichen Perspektiven und Bewertungsverfahren“ (Kultusministerkonferenz, 2020, S. 17) sowie die Fähigkeit diese zu nutzen. Den Schüler*innen soll somit vermittelt werden, Kriterien für eine Entscheidungsfindung und Meinungsbildung selbstständig zu erarbeiten und diese mithilfe physikalischen Wissens zu stützen. Zudem sollen sie unter

¹ Kultusministerkonferenz, 2020

Abwägung physikalischer und außerphysikalischer Kriterien (ökologisch, wirtschaftlich, etc.) Entscheidungen treffen und Meinungen ausbilden, sowie deren Folgen reflektieren können².

Die Sachkompetenz stellt den letzten Kompetenzbereich dar und beschreibt die Fähigkeit, naturwissenschaftliche Konzepte, Theorien und Verfahren beschreiben, erklären, nutzen und situationsgerecht auswählen zu können. Dies beinhaltet unter anderem die Fähigkeit zur Bearbeitung innerfachlicher sowie anwendungsbezogener Aufgaben unter Nutzung des erworbenen Fachwissens. Auch die Durchführung von Experimenten anhand einer Anleitung oder der Umgang mit Messgeräten zählt zum Kompetenzbereich der Sachkompetenz².

2.2. Das Schülerlabor als außerschulischer Lernort

Die in den Bildungsstandards angestrebten Kompetenzen müssen nicht nur im Rahmen des regulären Physikunterrichts erworben werden, sondern können auch außerhalb dieses weiterentwickelt werden. Eine Möglichkeit hierfür bietet der Besuch außerschulischer Lernorte. Hierbei handelt es sich um Lerngelegenheiten, welche außerhalb der Institution Schule situiert sind und im Rahmen einer schulischen Veranstaltung von Klassen oder Kursen besucht werden können (Baar & Schönknecht, 2018). Ein Beispiel für einen außerschulischen Lernort, welcher im Rahmen des Physikunterrichts aufgesucht werden kann, stellt das Schülerlabor dar.

Schülerlabore werden überwiegend von Universitäten und Forschungseinrichtungen betrieben und haben seit dem Ende der 1990er Jahre einen großen Aufschwung in Deutschland erlebt. Dieser ist darauf zurückzuführen, dass das Interesse an den naturwissenschaftlichen Fächern immer stärker zurückgeht. Schülerlabore haben das Ziel, diesem Phänomen entgegenzuwirken, indem sie den Schüler*innen ermöglichen, in einer anregenden Lernumgebung mit Laborcharakter experimentell zu arbeiten, während sie sich mit authentischen und lebensweltbezogenen naturwissenschaftlich-technischen Themenstellungen befassen (Euler & Schüttler, 2020). Die Ziele eines Schülerlabors, welche sich aus diesem Anspruch ergeben, formulieren Euler und Schüttler (2020) wie folgt:

² Kultusministerkonferenz, 2020

Ein Schülerlabor soll...

...das Interesse und die Aufgeschlossenheit der Schüler*innen für Naturwissenschaft und Technik fördern.

...ein zeitgemäßes Bild der Fächer sowie deren gesellschaftliche Bedeutung vermitteln.

...einen Einblick in Tätigkeitsfelder und Berufsbilder des naturwissenschaftlichen und technischen Bereichs geben.

...den Nachwuchs für MINT-Berufe fördern.

Zentral für den Charakter des Schülerlabors ist das eigenständige Experimentieren, welches den Schüler*innen einen eigenständigen Erwerb von Wissen ermöglicht, das über das in der Schule vermittelte Wissen hinausgeht oder dieses vertieft. Es findet somit „Lernen durch Experimentieren“ (Euler & Schüttler, 2020, S. 128) statt, wodurch eine Brücke zwischen der Schule und der modernen Wissenschaft geschlagen werden soll.

Schülerlabore werden für alle Altersstufen vom Kindergarten bis zum Studieneinstieg angeboten und können den zeitlichen Rahmen eines Vormittags, eines ganzen Tages oder auch mehrerer Tage einnehmen (Euler & Schüttler, 2020). Dadurch ergibt sich eine große Vielfalt von Schülerlaboren unterschiedlichen Umfangs und verschiedener Themenstellungen, welche im Rahmen des Unterrichts besucht werden können. Allein für den Fachbereich der Physik gibt es nach *LernortLabor*, einer Datenbank für bestehende Schülerlabore, aktuell 269 Schülerlabore in ganz Deutschland³, wobei die Tendenz weiterhin steigend ist.

2.3. Das Potential des Experimentierens

Wie im vorherigen Abschnitt bereits erwähnt, nimmt das Experimentieren eine zentrale Rolle in Schülerlaboren ein. Aus diesem Grund soll im folgenden Abschnitt ein kurzer Blick auf das Potential des Experimentierens geworfen werden.

Das Experimentieren ist ein grundlegender Aspekt der naturwissenschaftlichen Erkenntnismethode und dadurch aus dem Physikunterricht nicht wegzudenken. Zwar stellen die Experimente, wie sie im Schulunterricht durchgeführt werden, kein Modell für die tatsächlichen, modernen Forschungsmethodiken der Naturwissenschaften dar, dennoch

³ <https://www.schuelerlabor-atlas.de/> [16.10.2022]

ermöglichen sie es, „elementare Arbeitsschritte auf dem Weg zu physikalischen Erkenntnissen“ (Girwidz, 2020a, S. 278) aufzuzeigen und zu vermitteln. Darüber hinaus werden die Schüler*innen durch das Experimentieren zum physikalischen Arbeiten angeregt und bauen somit ihre experimentelle Handlungskompetenz aus. Hierzu zählt unter anderem der Umgang mit technischen Geräten und Versuchsaufbauten, mit welchen die Schüler*innen in der Lage sein sollen, Daten zu erfassen und dabei auftretende Schwierigkeiten selbstständig zu überwinden (Girwidz, 2020a).

Experimente sind ebenfalls zur Aktivierung der Schüler*innen geeignet (Girwidz, 2020a). Durch Experimente erhalten die Schüler*innen die Möglichkeit, selbstständig tätig zu werden und eigene Erfahrungen zu sammeln, wodurch Aufbau und Ablauf des Versuchs in der Regel besser verarbeitet werden (Girwidz, 2020a) und das theoretische Wissen im Anwendungskontext gefestigt wird (Euler & Schüttler, 2020). Zudem können durch Experimente nachhaltige Eindrücke vermittelt werden, da Phänomene und physikalische Effekte durch diese direkt erfahrbar werden und teilweise sehr imposant dargestellt werden können (Girwidz, 2020a). Das Experimentieren in Gruppen kann zusätzlich die Gelegenheit bieten, das kooperative Arbeiten einzuüben und die Kommunikationskompetenz der Schüler*innen zu stärken (Girwidz, 2020a).

Experiment ist jedoch nicht gleich Experiment. Ein Experiment kann im Rahmen des Physikunterrichts oder auch eines Schülerlabors verschiedene Funktionen erfüllen. Diese Funktionen sind in Abb. 1 aufgeführt. Beispiele zu den jeweiligen Funktionen sind in

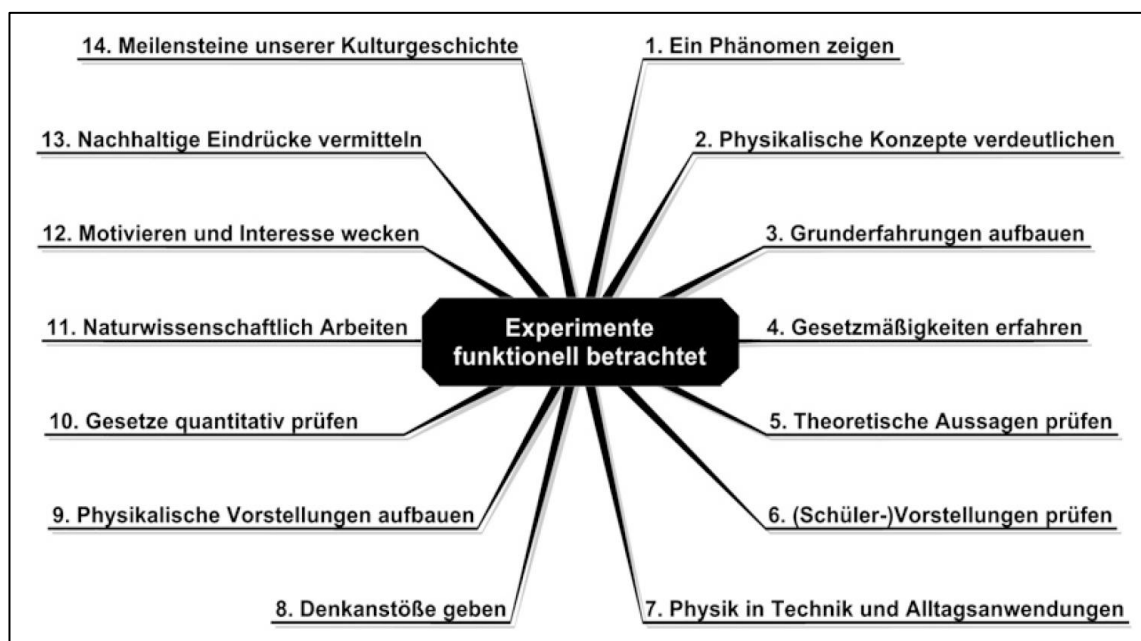


Abb. 1: Mögliche Funktionen von Experimenten [2].

Girwidz (2020a) zu finden und sollen an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden. Im Laufe der Darstellung des Schülerlabors (Abschnitt 5) wird auf die Funktionen erneut Bezug genommen, um die Funktionen der im Schülerlabor verwendeten Experimente genauer darlegen zu können.

2.4. Einsatz digitaler Medien zum Wissens- und Kompetenzerwerb

2.4.1. Das Potential digitaler Medien im Physikunterricht

Digitale Medien nehmen eine stetig größer werdende Rolle im Alltag der Schüler*innen ein. Nach der JIM-Studie des Medienpädagogischen Forschungsverbundes Südwest, welche im Jahr 2021 durchgeführt wurde, besaßen zu diesem Zeitpunkt 94 % der Jugendlichen im Alter von 12 bis 19 Jahren ein eigenes Smartphone und 76 % einen eigenen Laptop oder Computer. Neben dem alltäglichen Gebrauch bieten digitale Medien wie Smartphones und Laptops aber auch vielfältige Möglichkeiten für den Physikunterricht. Beispielsweise können sie für Recherchen, Datenerfassungen und Auswertungen beim Experimentieren oder für Simulationen verwendet werden. Insbesondere Smartphones stellen durch die Vielfalt eingebauter Sensoren eine Art „mobiles Mini-Labor“ (Kuhn & Vogt, 2019, S. 1) dar, dessen Möglichkeiten aufgrund der zunehmenden Anzahl dafür entwickelter Apps immer weiter ausgeschöpft werden können (Girwidz, 2020c).

Da Schüler*innen digitale Medien wie Smartphones und Laptops in der Regel aus dem Alltag kennen, können diese beim Einsatz im Physikunterricht Zugangsmöglichkeiten zu den behandelten Themen verbessern (Girwidz, 2020c) und gleichzeitig einen Alltags- und Lebensweltbezug herstellen (Kuhn & Vogt, 2019). Dies kann sich sowohl auf den kognitiven als auch auf den motivationalen Lernerfolg positiv auswirken. Zusätzlich kann durch den bereits vertrauten Umgang mit den Messgeräten das Autonomieerleben der Schüler*innen verstärkt werden (Kuhn & Vogt, 2019). Des Weiteren ist es möglich, durch den Einsatz von Smartphones und Laptops auf komplexe und unübersichtliche Versuchsaapparaturen zu verzichten (Kuhn & Vogt, 2019). Damit einhergehend können mehr klassische Demonstrationsexperimente in Form von Schülerversuchen umgesetzt werden (Girwidz, 2020c). Ebenso können außerhalb der Schulzeit analoge oder weiterführende Experimente von den Schüler*innen eigenständig durchgeführt werden (Kuhn & Vogt, 2019).

Ein weiterer Vorteil, welcher aus der Nutzung digitaler Medien wie Smartphones und Laptops resultiert, ist die Möglichkeit, Daten zügig in diverse Darstellungsformen zu überführen. Hierdurch können die Übersichtlichkeit der Messdaten erhöht und damit einhergehend Gesetzmäßigkeiten einfacher erkannt werden (Girwidz, 2020a). Überdies werden durch die Nutzung verschiedener Repräsentationsformen unterschiedliche Sinneskanäle der Schüler*innen angeregt, was den Aufbau des Wissens zusätzlich fördern kann (Girwidz, 2020b)

Nutzt man Laptops speziell für den Einsatz von Simulationen, bietet dies die zusätzliche Möglichkeit, Sachverhalte zu untersuchen, welche nicht visualisiert werden können oder Experimente durchzuführen, welche im Physikunterricht anderweitig nicht realisierbar wären. In den Simulations-Programmen lassen sich einzelne Variablen in der Regel leicht verändern, sodass wesentliche Kompetenzen des Experimentierens und entdeckenden Lernens schnell eingeübt werden können. Simulationen können und sollen Experimente zwar nicht vollkommen ersetzen, können aber dazu dienen, diese sinnstiftend zu ergänzen (Girwidz, 2020c).

Abschließend ist erwähnenswert, dass auch die Kultusministerkonferenz (2020) den Erwerb von „Kompetenzen des fachlichen Umgangs mit digitalen Medien und Werkzeugen“ (S. 10) vorschreibt. Da es sich in Bezug auf Smartphones und Laptops insbesondere um „zukunftsrelevante Techniken“ (Girwidz, 2020a, S. 284) handelt, sollten diese also nicht aus dem Physikunterricht oder anderen Lernangeboten ausgeschlossen werden.

2.4.2. Darstellung der im Schülerlabor genutzten digitalen Anwendungen

Im Folgenden sollen die digitalen Anwendungen für den Computer und das Smartphone vorgestellt werden, welche im für diese Arbeit entwickelten Schülerlabor zum Einsatz kommen.

Algodoo

Algodoo ist ein 2D-Simulationsprogramm, welches von Algoryx Simulation AB entwickelt wurde und auf Windows und Mac läuft. Auf einer spielerisch gestalteten Oberfläche bietet es die Möglichkeit, eigene Simulationen zu entwerfen oder bereits bestehende Simulationen herunterzuladen. Durch die Möglichkeit, Flüssigkeiten, Federn, Motoren, Linsen und Laserstrahlen einzubauen, bieten sich vielfältige Optionen für Simulationen im Bereich der Mechanik und Optik. Es können beispielsweise Simulationen zur

Gravitation, Reibung, Brechung und Anziehung mit Algodoo entworfen und durchgeführt werden. Zusätzlich können in Algodoo Diagramme angezeigt sowie Kräfte, Geschwindigkeiten und Impulse visualisiert werden.⁴

GeoGebra

Bei GeoGebra handelt es sich um eine dynamische Mathematiksoftware, welche in erster Linie für den Mathematikunterricht entwickelt wurde, mittlerweile aber auch im naturwissenschaftlichen Unterricht und Informatikunterricht Anwendung findet. GeoGebra kann über den Internetbrowser verwendet oder kostenfrei auf iOS, Android, Windows, Mac, Chromebook und Linux heruntergeladen werden. Mit beiden Versionen ist es möglich, Tabellen, Graphen, Figuren und Körper zu erstellen und diese flexibel durch Änderung einzelner Variablen anzupassen. Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten eignet sich GeoGebra in Bezug auf die Mathematik somit für den Einsatz im Geometrie-, Algebra-, Statistik- und Analysis-Unterricht. Da GeoGebra die aktuell führende dynamische Mathematiksoftware ist, können über die Internetplattform über eine Million kostenlose Unterrichtsmaterialien für das Programm heruntergeladen werden, welche von der GeoGebra-Community mit der Zeit entwickelt wurden.⁵

FLIR One

Bei der FLIR One handelt es sich um einen externen Kamerasensor für das Smartphone. Schließt man den Sensor an den Ladeanschluss des Smartphones an, lässt sich dieses über die gleichnamige App als Wärmebildkamera nutzen. Der Einsatz der FLIR One bietet sich somit in erster Linie für Themen der Thermodynamik an.

Mithilfe der FLIR One können Wärmebilder aufgenommen und Temperaturen von auf dem Display sichtbaren Objekten bestimmt werden. Die Temperaturen können hierbei sowohl während der Aufnahme als auch im Nachhinein bestimmt werden, wobei der Messbereich zwischen -20°C und 120°C liegt. Darüber hinaus ist es möglich, aufgenommene Wärmebilder in die ursprünglichen Bilder umzuwandeln oder beide Bilder übereinander zu legen. Auch Videos, Panoramabilder oder Zeitraffervideos können mit der FLIR One aufgenommen, anschließend gespeichert und gegebenenfalls exportiert werden (Molz et al., 2016).

⁴ <http://www.algodoo.com/what-is-it/> [17.10.2022]

⁵ <https://www.geogebra.org/about> [17.10.2022]

Die FLIR One App ist für Android und iOS verfügbar und kann kostenlos heruntergeladen werden. Für die Nutzung der App wird jedoch der FLIR One-Kamerasensor benötigt, welcher ab einem Preis von 270 € erworben werden kann (Molz et al., 2016).

Phyphox

Bei Phyphox handelt es sich um eine App für Smartphones oder Tablets, welche an der RTWH Aachen University entwickelt wurde und kostenlos für Android und iOS heruntergeladen werden kann. Mithilfe dieser App können die im Smartphone verbauten Sensoren genutzt werden, um verschiedenste Experimente im Bereich der Mechanik und der Akustik durchzuführen. Die verschiedenen Experimente können dabei auf der Oberfläche von Phyphox ausgewählt oder eigenständig entwickelt werden. Zu vielen der bereits existierenden Experimente stellt Phyphox auf seiner Internetseite zusätzliche Erklärvideos und Unterrichtsmaterialien bereit. Neben der Arbeit auf dem Smartphone gibt es außerdem die Option, Phyphox mit dem Laptop zu verbinden, um Experimente über diesen fernzusteuern. Zusätzlich können die mit Phyphox erfassten Daten in verschiedenen Formaten exportiert und so weiterverarbeitet werden.⁶

⁶ <https://phyphox.org/de/home-de/> [17.10.2022]

3. Fachwissenschaftlicher Hintergrund

3.1. Plastik

3.1.1. Grundwissen Plastik

Bei dem Begriff Plastik handelt es sich um den umgangssprachlichen Ausdruck für Kunststoffe, welche auch als Plaste bezeichnet werden (Hammer, 1982). Kunststoffe sind organische Verbindungen, welche aus Makromolekülen zusammengesetzt sind. Hergestellt werden sie in erster Linie durch chemische Prozesse, in welchen niedermolekulare Grundbausteine, sogenannte Monomere, aneinandergereiht werden. Diesen Prozess bezeichnet man als Polymerisation. Eine weitere Möglichkeit Kunststoffe herzustellen, besteht in der Abwandlung hochmolekularer Naturstoffe. Der Herstellungsprozess der Polymerisation überwiegt jedoch deutlich (Eyerer, 2012). Aufgrund der Vielfalt polymerisierbarer Monomere existiert eine Vielzahl an Kunststoffen mit verschiedensten Eigenschaften. Durch das Hinzufügen von Additiven und Verstärkungstoffen ist es in einem gewissen Rahmen insbesondere möglich, den Verwendungszwecken entsprechend individuelle Anpassungen an den Eigenschaften vorzunehmen. Dies macht Kunststoffe vielseitig einsetzbar und durch die zusätzliche Wirtschaftlichkeit sehr attraktiv für die Gesellschaft (Eyerer, 2012).

Abhängig von der Struktur und der sich daraus ergebenden Eigenschaften unterscheidet man zwischen drei Kunststoffklassen: Thermoplasten, Elastomeren und Duroplasten.

Kennzeichnend für Thermoplaste ist eine Schmelztemperatur, oberhalb welcher sie beginnen zu fließen oder zu schmelzen. Dies begründet sich darin, dass Thermoplaste im Gegensatz zu Kunststoffen anderer Klassen nicht vernetzt sind (s. Abb. 3). Im Fließ- oder Schmelzzustand ist es möglich, Thermoplaste zu verarbeiten und in beliebige Formen zu bringen. Durch anschließendes Abkühlen können die Kunststoffe wieder erhärten und behalten somit die gegebene Form. Dieses Vorgehen kann beliebig oft wiederholt werden (Eyerer, 2012). Beispiele für Thermoplaste sind Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polystyrol (PS), Polymethylmethacrylat (PMMA), Polyethylenterephthalat (PET), Polyvinylchlorid (PVC) und Polyamid (PA) (Eyerer, 2012). Die häufigsten Einsatzgebiete von Thermoplasten sind in Abb. 2 dargestellt.

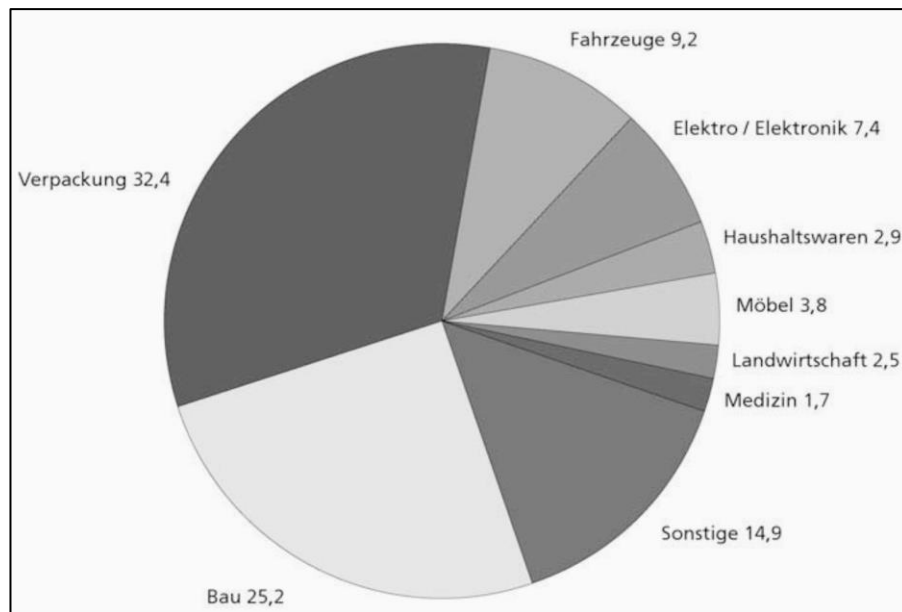


Abb. 2: Einsatzgebiete von Thermoplasten [3].

Bei Elastomeren handelt es sich um weitmaschige und chemisch vernetzte Kunststoffe (s. Abb. 3). Aufgrund dieser Vernetzung sind sie im Gegensatz zu Thermoplasten nicht schmelzbar. Hierdurch ist eine Verarbeitung im geschmolzenen Zustand sowie Recycling durch Wiederaufschmelzen bei Elastomeren nicht möglich. Kennzeichnend für Elastomere ist, dass sie in einem weiten Temperaturbereich, welcher von Temperaturen unter dem Gefrierpunkt bis hin zur Zersetzungstemperatur reicht, gummielastische Eigenschaften aufweisen. Dies bedeutet, dass Elastomere im Anschluss an eine Verformung ihre ursprüngliche Form wieder einnehmen. Beispiele für Elastomere sind Polyurethan (PU) und Polyacrylat-Kautschuk (ACM) (Eyerer, 2012).

Die Struktur von Duroplasten ist engmaschig, bis zur Zersetzungstemperatur chemisch vernetzt und in der Regel ungeordnet (s. Abb. 3). Dadurch lassen sich Duroplaste wie bereits Elastomere nicht schmelzen, womit einhergeht, dass auch Duroplaste nicht durch Schmelzen recycelt werden können. Im Vergleich zu Elastomeren besitzen Duroplaste zudem eine wesentlich höhere Steifigkeit und sind gleichzeitig wärmebeständiger. Beispiele für Duroplaste sind Phenol-Formaldehyd (PF) und Diallylphthalat (DAP) (Eyerer, 2012).

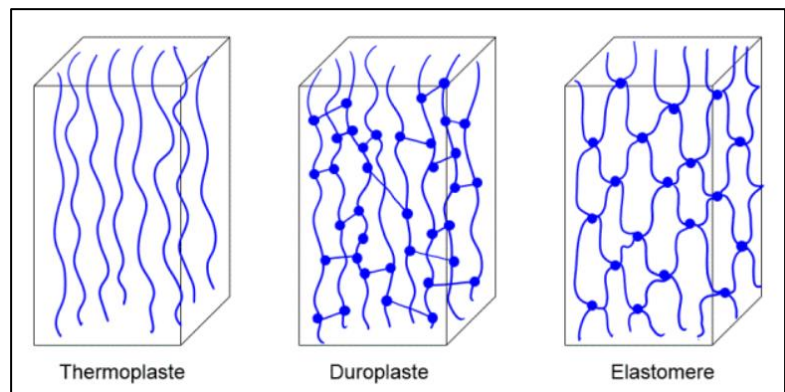


Abb. 3: Struktur der verschiedenen Kunststoffklassen [4].

3.1.2. Umweltaspekte von Plastik

Neben den Vorteilen, welche Kunststoffe in Bezug auf ihre Verarbeitbarkeit und Wirtschaftlichkeit aufweisen, bergen sie im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit vielfältige Probleme. Dies betrifft insbesondere die Wiederverwendbarkeit und Entsorgung von Kunststoffen (Eyerer, 2012).

Die am weitesten verbreitete Methode des Recyclings ist das mechanische Recycling. Bei diesem werden thermoplastische Kunststoffe geschmolzen und anschließend wiederverarbeitet (Vacano et al., 2021). Auch wenn dieser Prozess, wie in Abschnitt 3.1.1. bereits erwähnt, in der Theorie beliebig oft wiederholbar ist, ergeben sich in der Praxis mehrere Hürden in Bezug auf den Erhalt der Kunststoffqualität dabei. Eine dieser Hürden stellt die Reinheit der Kunststoffe dar. Zwar gibt es Maschinen, welche Kunststoffe waschen und überwiegend sortenrein sortieren können, diese sind jedoch nicht in der Lage, eine hundertprozentige Reinheit zu gewährleisten. Dadurch kommt es beim Recycling von Kunststoffen sowohl zur Beimischung von Abfallprodukten als auch von unerwünschten Kunststoffsorten, welche sich nicht mit dem zu recycelnden Kunststoff mischen lassen. Ausschließlich durch die Anlage separater Produktionskreisläufe, wie dies beispielsweise bei PET-Flaschen der Fall ist, kann der Erhalt sortenreiner Kunststoffe und damit einhergehend eine hohe Kunststoffqualität gewährleistet werden (Vacano et al., 2021). Dennoch werden die Molekülketten aufgrund von Alterung mit der Zeit geschädigt, was ebenfalls Einfluss auf die Qualität des Kunststoffs hat. Dies wird als Downcycling bezeichnet. Aus diesen Gründen wird recycelter Kunststoff überwiegend für Objekte wie Abfalleimer, Parkbänke oder Gießkannen weiterverwendet, für welche der Kunststoff keine besonderen Ansprüche erfüllen muss. Aufgrund der Problematiken, welche sich beim Erhalt der Kunststoffqualität ergeben, wird nach aktuellem Stand nur ein kleiner Anteil des anfallenden Kunststoffmülls recycelt, während über die Hälfte auf Deponien oder in der Umwelt landet (Vacano et al., 2021). Da eine einfache PET-Flasche nach einem Forschungsbericht des Umweltbundesamtes bereits über 450 Jahre benötigt, um abgebaut zu werden (Schonert et al., 2002), kommt es infolgedessen zu einer großen Ansammlung von Müll im Meer und auf dem Land. Das Verpackungsmaterial von Einwegprodukten macht dabei einen Hauptbestandteil des vorhandenen Meeresmülls aus (Sattlegger et al., 2020). Zusätzlich kritisch ist, dass der anfallende Müll durch verschiedene Umwelteinflüsse zunächst in kleine Bestandteile zerlegt wird. Dadurch ist er nach einiger Zeit zwar nicht mehr sichtbar, schadet Umwelt und Lebewesen aber weiterhin in Form von Mikroplastik (Sattlegger et al., 2020). Aus diesem Grund stellt Plastik heutzutage eine globale

Bedrohung für verschiedenste Lebensräume im Wasser und auf dem Land dar (Vacano et al., 2021).

Neben dem mechanischen Recycling und der Entsorgung auf Deponien oder in der Umwelt gibt es weitere Möglichkeiten der Entsorgung wie das chemische Recycling und die Verbrennung von Kunststoffen. Das chemische Recycling scheint insbesondere für Kunststoffe wie PS, PA6 und PMMA energetisch günstig zu sein, liefert jedoch nicht für alle Kunststoffe eine gute Umweltbilanz. Die Verbrennung von Kunststoffen erzeugt hingegen große Mengen an Treibhausgasen, weshalb auch diese nicht als Alternative zur Verbesserung der Nachhaltigkeit anzusehen ist (Vacano et al., 2021).

Einen letzten Kritikpunkt stellt die Produktion von Kunststoffen dar, da Kunststoffe zu 94 % aus Rohöl hergestellt werden. Zudem fällt für die Herstellung von Kunststoffen ein hoher Energieverbrauch an, welcher in den meisten Fällen aus fossilen Energieträgern gewonnen wird. Auch dies trägt zu einer erhöhten CO₂-Emission und damit einhergehend zu einer Verschlechterung der Umweltbilanz bei (Vacano et al. 2021).

3.1.3. Biologisch abbaubare Kunststoffe

Biologisch abbaubare Kunststoffe werden mit dem Ziel entwickelt, zu einer nachhaltigeren Kreislaufwirtschaft beizutragen, und werden im allgemeinen Sprachgebrauch häufig als Biokunststoffe bezeichnet. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass bei Biokunststoffen zwischen biologisch abbaubaren und biobasierten Kunststoffen unterschieden werden kann. Biobasierte Kunststoffe kennzeichnen sich dadurch, dass sie aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden, müssen jedoch zeitgleich nicht zwingend biologisch abbaubar sein (Kramm & Haider, 2020). Biologisch abbaubare Stoffe hingegen können von Mikroorganismen in ihre einzelnen Bestandteile zerlegt werden, welche im Anschluss vollständig verstoffwechselt werden können (Vacano et al., 2021). Ob, wie schnell und in welchem Ausmaß ein Abbau bei biologisch abbaubaren Kunststoffen stattfindet, ist abhängig von der Struktur des Kunststoffs sowie den Umgebungsbedingungen. Zu diesen Bedingungen zählen die Temperatur sowie die Anwesenheit von Sauerstoff, UV-Strahlung oder Mikroorganismen. In industriellen Kompostieranlagen erfolgt die Kompostierung bei erhöhten Temperaturen und unter Luftzufuhr (Vacano et al., 2021). Vergleicht man diese Bedingungen mit den Bedingungen eines einfachen Komposthaufens, ist eine kontinuierliche Luftzufuhr zwar gegeben, eine durchgängig hohe Temperatur kann in der

Regel jedoch nicht gewährleistet werden. Am Beispiel des biologisch abbaubaren Kunststoffes PLA (Polylactid) bedeutet dies, dass in einer industriellen Kompostieranlage ein Abbau innerhalb weniger Wochen möglich ist, während dieser auf heimischen Komposthaufen elf Monate benötigt. Betrachtet man den biologischen Abbau von PLA hingegen in Gewässern, ist PLA sogar vergleichbar mit konventionellen Kunststoffen (Kramm & Haider, 2020). Spricht man von biologischer Abbaubarkeit, sind die spezifischen Umgebungsbedingungen somit entscheidend, damit ein Abbau in der vom Hersteller angegebenen Zeit stattfinden kann.

Der bereits angesprochene Kunststoff PLA ist zum jetzigen Zeitpunkt der am weitesten verbreitete und bekannteste biologisch abbaubare Kunststoff. Allgemein muss jedoch festgestellt werden, dass die Biokunststoff-Industrie noch in den Kinderschuhen steckt. In Bezug auf biologisch abbaubare Kunststoffe gibt es neben PLA nur eine weitere Kunststofffamilie, zu welcher bereits umfassende Untersuchungen durchgeführt wurden: Polyhydroxyalkanoate (PHAs) (Kramm & Haider, 2020). PHAs sind sowohl biobasiert als auch biologisch abbaubar und können Temperaturen über 80 °C aushalten. Zudem zersetzen sie sich im Gegensatz zu PLA auf dem heimischen Kompost und können selbst in Gewässern innerhalb mehrerer Wochen abgebaut werden (Lingle, 2019). Da es sich bei PHAs um eine ganze Familie verwandter Kunststoffe handelt, besteht der größte Vorteil in der Veränderbarkeit ihrer Eigenschaften durch Kombination verschiedener Monomere (Lingle, 2018). Zudem können PHAs aus organischen Abfällen hergestellt werden und sind somit unabhängig von Monokulturen (Lingle, 2018).

Trotz der vielen Vorteile und möglichen Einsatzgebiete von PHAs, werden sie aktuell überwiegend für Mulchfolien und medizinisches Garn eingesetzt (Lingle, 2019). Grund hierfür sind wie auch bei anderen Biokunststoffen die Kosten, welche sich aus der aktuell noch geringen Produktionskapazität ergeben (Kramm & Haider, 2020). PHAs zeigen jedoch das Potential biologisch abbaubarer Kunststoffe auf, welches in den kommenden Jahren weiter ausgebaut und genutzt werden kann.

3.2. Physikalische Eigenschaften

Im Duden ist der Begriff der Eigenschaft definiert als ein „zum Wesen [...] gehörendes Merkmal“ und eine „charakteristische [Teil]beschaffenheit“⁷. Eine physikalische Eigenschaft kann daher als wesentliches Merkmal eines Stoffes verstanden werden, welche insbesondere im Bereich der Physik von Bedeutung ist und mittels physikalischer Experimente ermittelt werden kann. Anhand physikalischer Eigenschaften ist es somit möglich, Stoffe zu identifizieren und voneinander zu unterscheiden (Atkins & Beran, 1996). Von chemischen Eigenschaften lassen sich physikalische Eigenschaften nach Atkins und Beran (1996) dadurch abgrenzen, dass sie sich bei der Bestimmung nicht verändern, während chemische Eigenschaften nur durch Umwandlung eines Stoffes in einen anderen bestimmt werden können.

Im Folgenden sollen einige physikalische Eigenschaften vorgestellt und definiert werden, welche in Bezug auf die Entwicklung des Schülerlabors in Abschnitt 4.2. erneut aufgegriffen werden.

Dichte und Schwimmfähigkeit

Die Dichte oder genauer gesagt die Raumdichte der Masse ρ ist definiert als die Masse m eines Objekts pro Volumeneinheit V und wird üblicherweise in $\frac{kg}{m^3}$ (SI-Einheit), $\frac{kg}{l}$ oder $\frac{g}{cm^3}$ angegeben (Greulich, 1999a):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Durch die Abhängigkeit der Dichte vom Volumen ergibt sich für Flüssigkeiten und Gase eine zusätzliche Abhängigkeit von Druck und Temperatur. Diese kann bei Festkörpern jedoch vernachlässigt werden (Greulich, 1999a).

Eng mit der Dichte verknüpft ist die Schwimmfähigkeit eines Objekts. Befindet sich ein Objekt in einer Flüssigkeit, deren Dichte niedriger ist als die Dichte des Objekts, geht das Objekt unter. Ist die Dichte der Flüssigkeit hingegen höher als die Dichte des Objekts, schwimmt das Objekt an der Flüssigkeitsoberfläche. Sind die Dichten von Flüssigkeit und Objekt genau gleich, schwebt der Körper in der Flüssigkeit (Greulich, 1999a). Erklärt werden kann dies dadurch, dass ein Körper genau dann auf der Oberfläche schwimmt, wenn die Auftriebskraft F_A größer ist als die Gewichtskraft F_G , welche er erfährt

⁷ <https://www.duden.de/rechtschreibung/Eigenschaft> [29.10.2022]

(Greulich, 2000b). Nach dem archimedischen Prinzip entspricht der Betrag der Auftriebskraft F_A dem Betrag der Gewichtskraft der verdrängten Flüssigkeit und lässt sich somit durch

$$F_A = \varphi_l \cdot V \cdot g \quad (2)$$

berechnen. Hierbei steht φ_l für die Dichte der Flüssigkeit, V für das Volumen des Körpers und g für die Fallbeschleunigung (Demtröder, 2018). Der Betrag der Gewichtskraft F_G lässt sich hingegen berechnen durch

$$F_G = m \cdot g = \varphi_K \cdot V \cdot g \quad (3)$$

(Demtröder, 2018). Die Gewichtskraft F_G unterscheidet sich von der Auftriebskraft F_A somit ausschließlich in der Dichte des betrachteten Körpers φ_K , mit welcher das Volumen V und Fallbeschleunigung g anstelle der Dichte der Flüssigkeit φ_l multipliziert werden. Aus diesem Grund gilt, dass die Auftriebskraft F_A genau dann größer als die Gewichtskraft F_G ist, wenn die Dichte der Flüssigkeit φ_l größer ist als die Dichte des betrachteten Körpers φ_K ist.

Steifigkeit

Die Steifigkeit eines Körpers wird durch das sogenannte Elastizitätsmodul E beschrieben und gibt an, wie stark sich ein Körper bei einer gewissen Belastung verformt. Berechnet wird das Elastizitätsmodul über das Verhältnis von Spannung σ und Dehnung ε :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

Hierbei entspricht die Dehnung ε der Längenänderung pro Ausgangslänge. Zu beachten ist, dass sich das Elastizitätsmodul ausschließlich auf den Bereich der elastischen Verformung eines Materials bezieht (Weißbach, 2012).

Festigkeit

Die Festigkeit ist ein Maß für die „mechanische Beanspruchungsgrenze eines Materials“ (Greulich, 1999a, S. 352). Hierbei kann zwischen verschiedenen Formen der Festigkeit unterschieden werden: der Dauerfestigkeit, der Druckfestigkeit und der Zugfestigkeit (Greulich, 1999a). Die Dauerfestigkeit beschreibt den Widerstand eines Körpers gegen Ermüdung, welche aufgrund von Lastenwechseln (Wechselfestigkeit) oder Dauerbeanspruchung (Schwellfestigkeit) entsteht. Ermittelt werden kann die Dauerfestigkeit über einen Zugversuch (Schwellfestigkeit) oder über ein Dauerfestigkeitsdiagramm

(Wechselfestigkeit) (Greulich, 1998). Die Zugfestigkeit wird ebenfalls mittels eines Zugversuchs bestimmt und ist ein Maß für die maximale Kraft pro Querschnittsfläche, welche aufgewendet werden muss, um eine stabförmige Probe zu zerreißen. Faktisch zerreißt eine Probe an diesem Punkt jedoch bloß, wenn sie aus einem spröden Material besteht. Bei anderen Materialien äußert sich das Erreichen der Höchstspannung durch eine Einschnürung des Materials (Greulich, 2000b). Die letzte der zuvor erwähnten Formen der Festigkeit, die Druckfestigkeit, wird mittels eines Druckversuchs gemessen und entspricht der beim Bruch aufgewendeten Höchstkraft pro Querschnittsfläche (Greulich, 1999a).

Reflexion

Der Begriff der Reflexion kann sowohl für elektromagnetische Wellen (Licht) als auch Schallwellen verwendet werden und beschreibt das Zurückgeworfenwerden von Wellen an der Grenzfläche zweier verschiedener Medien (Greulich, 2000a).

Eine Reflexion kann regelmäßig gerichtet oder gestreut erfolgen. Ersteres bezeichnet man als Spiegelung. Ob es zu einer Spiegelung oder einer Streuung kommt, ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit der Grenzfläche. Ist die Wellenlänge der auftreffenden Welle signifikant größer als die Oberflächenrauigkeit, kommt es zur Spiegelung. Befindet sich die Wellenlänge hingegen in der Größenordnung der Oberflächenrauigkeit, wird die Welle gestreut (Greulich, 2000a).

Für die Reflexion durch Spiegelung gilt, dass der einfallende und der reflektierte Strahl in einer Ebene liegen, sowie, dass der Ausfallswinkel dem Einfallswinkel entspricht (Greulich, 1998). Die Intensität des reflektierten Lichts kann dabei in Abhängigkeit des Einfallswinkels, der Polarisation des Lichts und dem verwendeten Material variieren. Effekte dieser Art lassen sich mithilfe der Bragg-Reflexion oder den fresnelschen Formeln erklären (Greulich, 2000a).

Transmission

Als Transmission bezeichnet man die „Durchlässigkeit eines Mediums für Licht“ (Greulich, 2000b, S. 307). Die Stärke der Transmission (Transmissionsgrad) hängt antiproportional mit der polarisationsabhängigen Spiegelung, der Streuung und der Absorption innerhalb des Mediums zusammen (Greulich, 2000b).

Brechungsindex

Der Brechungsindex n ist ein Maß für die Lichtbrechung an einer Grenzfläche. Je größer der Brechungsindex, desto stärker wird das Licht an der Oberfläche gebrochen. Mathematisch beschrieben wird die Brechung von Licht an einer Grenzfläche durch das snelliussche Brechungsgesetz (Greulich, 1998):

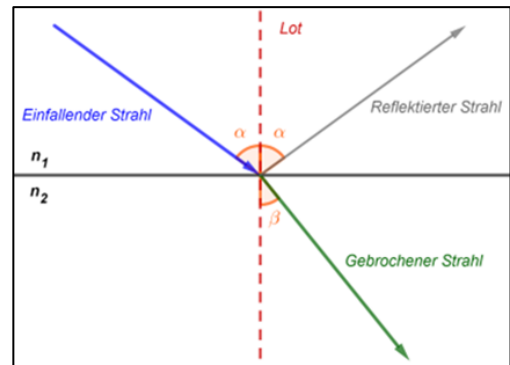


Abb. 4: Brechung von Licht an einer Grenzfläche [1].

$$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta) \quad (5)$$

Tabelle 1: Brechungsindizes verschiedener Medien⁸

Medium	Brechungsindex
Vakuum	1
Luft	1,000272
Flintglas	1,613
Kronglas	1,510
Plexiglas	1,489

n_1 ist dabei der Brechungsindex des Mediums, aus welchem der Lichtstrahl kommt, n_2 der Brechungsindex des Mediums, in welches der Lichtstrahl eintritt, α der Einfallswinkel und β der Winkel zwischen Lot und gebrochenem Strahl (vgl. Abb. 4). Beispiele für Brechungsindizes sind in Tabelle 1 dargestellt.

Optische Dispersion

Als Dispersion bezeichnet man im Allgemeinen die Wellenlängenabhängigkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Welle. In Bezug auf die Optik zeigt sich dies, wenn weißes Licht beim Durchgang eines Prismas in seine einzelnen Spektralfarben aufgespalten wird (Greulich, 1999a). Umso dicker ein Material wie beispielsweise Glas oder transparenter Kunststoff und umso größer sein Brechungsindex ist, umso stärker ist die auftretende Dispersion (Buser et al., 2018).

Schmelztemperatur, Schmelzverhalten und thermische Verformbarkeit

Die Schmelztemperatur entspricht derjenigen Temperatur, bei welcher „ein Stoff aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht“ (Greulich, 2000b, S. 17). Bei Gläsern oder Kunststoffen wird dieser Punkt auch als Erweichungspunkt bezeichnet, da sie ab diesem zunächst an Formstabilität verlieren, bevor sie sich bei Temperaturen oberhalb der

⁸ Dichte von Vakuum, Luft, Flintglas und Kronglas (Greulich, 1998), Dichte von PMMA (Kasarova et al., 2007)

Schmelztemperatur tatsächlich verflüssigen (Greulich, 2000b). Gläser und Kunststoffe unterscheiden sich in ihrem Schmelzverhalten somit von anderen Stoffen. Auch bei ausschließlicher Betrachtung von Kunststoffen können weiterhin Unterschiede im Schmelzverhalten beobachtet werden. Diese Unterschiede können unter anderem dabei behilflich sein, verschiedene Kunststoffe voneinander zu unterscheiden und Aufschluss über deren Zusammensetzung geben. Aspekte, welche in Bezug auf das Schmelzverhalten untersucht werden können, sind die Veränderung der Farbe, die Entwicklung von Dämpfen sowie der beim Schmelzen entstehende Geruch (Blume & Wiechoczek, 2004b). Zudem ist in Bezug auf Kunststoffe deren thermische Verformbarkeit von Interesse. Werden beispielsweise Thermoplaste bis hin zur Erweichungstemperatur erhitzt, ist es möglich, diese beliebig zu verformen. Senkt man die Temperatur im Anschluss wieder, kommt es zur Erstarrung und der Thermoplast verbleibt in der gegebenen Form. Grund dafür ist die geringe Vernetzung, welche ermöglicht, dass sich die Molekülketten beim Erhitzen leicht gegeneinander verschieben können (Stolze, 2010). Ein solches Vorgehen ist bei Duroplasten und Elastomeren nicht realisierbar (Eyerer, 2012).

Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit charakterisiert, inwiefern ein Stoff in der Lage ist, elektrische Ladungsträger wie Elektronen und Ionen zu transportieren und wird in der Einheit Siemens pro Meter ($\frac{S}{m}$) angegeben (Greulich, 1999a). Stoffe, welche eine hohe elektrische Leitfähigkeit aufweisen, werden dabei als Leiter bezeichnet, während Stoffe mit einer geringen elektrischen Leitfähigkeit als Isolatoren bezeichnet werden. Metalle stellen sehr gute elektrische Leiter dar, da sie delokalisierte Elektronen besitzen, welche sich frei im Metall bewegen können (Greulich, 1999a). Auch bei Isolatoren ist ein Ladungstransport nicht komplett ausgeschlossen, jedoch ist ihre elektrische Leitfähigkeit um mindestens 20 Zehnerpotenzen kleiner als bei Leitern (Greulich, 1999a). Als Isolatoren werden unter anderem Materialien wie Keramik, Glas und Kunststoffe (z.B. PS, PE oder PVC) verwendet (Greulich, 1999b).

Elektrostatische Aufladung

Auch wenn Isolatoren keine elektrischen Ladungen transportieren können, ist es dennoch möglich, sie elektrostatisch aufzuladen. Dies bedeutet, dass elektrische Ladungen an ihrer Oberfläche hervorgerufen werden können, welche anschließend zu einer elektrostatischen Anziehung oder Abstoßung führen (Greulich, 1999a). Die wichtigste Form der

elektrostatischen Aufladung ist die Reibungselektrizität, welche auch als Triboelektrizität bezeichnet wird und durch Reibung zweier Isolatoren aneinander entsteht. Bei Reibung der Isolatoren aneinander nähern sich diese bis auf molekulare Abstände an, was eine Ladungsübertragung zur Folge hat. Diese Ladungsübertragung beruht auf der Coehnschen Regel, welche besagt, dass derjenige Stoff positiv aufgeladen wird, welcher die größere Dielektrizitätskonstante besitzt (Greulich, 2000a). Welcher der Isolatoren bei Reibung positiv und welcher negativ aufgeladen wird, kann somit vorhergesagt werden und ist in der triboelektrischen Reihe festgehalten. Wird ein Stoff (Stoff 1) an einem anderen Stoff (Stoff 2) gerieben, welcher über ihm in der triboelektrischen Reihe steht, wird Stoff 1 negativ aufgeladen. Stoff 2 wird hingegen positiv aufgeladen, da Stoff 1 unter ihm in der triboelektrischen Reihe steht (Greulich, 2000a). Ein Ausschnitt der triboelektrischen Reihe, welcher mithilfe von Németh (2003) und Keyence (2017) zusammengestellt wurde, ist in Abb. 5 zu sehen.

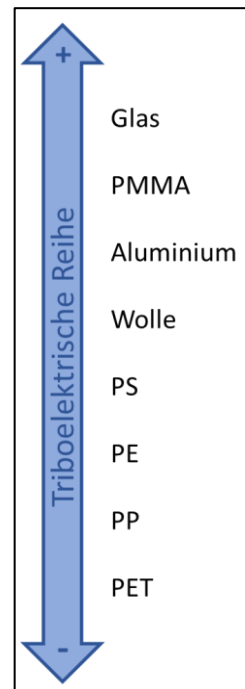


Abb. 5: Tribo-elektrische Reihe [1].

Dielektrizität

Anstelle des Begriffs *Isolator* wird für nichtleitende Materialien häufig das Wort *Dielektrikum* verwendet. Dies ist damit begründet, dass dielektrische Materialien (kurz: Dielektrika) wie Isolatoren nahezu nicht elektrisch leitend sind (Greulich, 1999a). Darüber hinaus zeichnen sich dielektrische Materialien durch ihre Polarisierbarkeit aus. Aus diesem Grund wird der Begriff des Dielektrikums in erster Linie im Kontext von Kondensatoren verwendet, in welchen die Polarisierbarkeit eine zentrale Rolle spielt. Bringt man ein Dielektrikum in einen Kondensator ein, verschieben sich die Elektronen der Atome und Moleküle des Dielektrikums. Infolgedessen bildet sich ein elektrisches Feld aus, welches dem elektrischen Feld des Kondensators entgegenwirkt und es folglich abschwächt (Greulich, 1999a). Dadurch kann mithilfe eines Dielektrikums die Kapazität des Kondensators erhöht werden, wodurch mehr Ladungen auf ihm gespeichert werden können (Greulich, 1999b).

Das Maß für die Dielektrizität eines Materials ist die relative Dielektrizitätskonstante ϵ_r (Greulich, 1999a). Einige beispielhafte Werte für die Dielektrizitätskonstante sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Dielektrizitätszahl verschiedener Medien (Greulich, 1999a).

Medium	Brechungsindex
Vakuum	1
Luft	1,000576
Plexiglas	3,4
Papier	3,7
Glas	5-10

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt, wie viel Wärme pro Zeiteinheit und Flächenelement aufgrund eines Temperaturgefälles von einem Stoff transportiert wird (Greulich, 2000b). Bei Feststoffen erfolgt die Wärmeleitung durch Übertragung der Schwingungsenergie an benachbarte Atome. Es findet somit kein Massentransport, sondern ein ausschließlicher Wärmetransport statt. Metalle weisen im Vergleich zu anderen Feststoffen eine besonders hohe Wärmeleitfähigkeit auf. Dies ist dadurch begründet, dass Metalle frei bewegliche Elektronen besitzen, welche einen wesentlichen Beitrag zum Energietransport leisten. Aufgrund ihrer kleinen Masse können die Elektronen bei Erhitzung große thermische Geschwindigkeiten erreichen. Dadurch kommt es schnell zu Stößen mit anderen Atomen oder Elektronen, was den Transport der thermischen Energie beschleunigt (Demtröder, 2018).

Akustische Eigenschaften

Die Akustik wird auch als „Lehre vom Schall“ (Greulich, 1998, S. 47) bezeichnet. Demzufolge handelt es sich bei akustischen Eigenschaften um Materialeigenschaften, welche die Ausbreitung von Schall beeinflussen. Hierzu zählen unter anderem die Schallanregung, -reflexion und -absorption (Möser & Kropp, 2010).

Schall breitet sich in Luft in Form von Longitudinalwellen aus. Dies bedeutet, dass sich Schall über eine wandernde Verdichtung von Luftteilchen fortbewegt und nicht durch den Transport einzelner Teilchen (Pospiech & Siemens, 2005). Trifft Schall auf ein Material, beschreibt die Schallanregung, wie stark das physikalische System des Materials dabei aus seiner Ruhelage ausgelenkt wird (Greulich, 2000b). Die Schallreflexion hingegen ist abhängig vom Schallwiderstand eines Materials und tritt insbesondere auf, wenn Schall

auf die Phasengrenze von zwei Medien trifft, welche sich in ihrem Schallwiderstand stark unterscheiden. Äquivalent zur Reflexion von Licht ist die Reflexion von Schall definiert als das Zurückgeworfenwerden von Schall an einer Grenzfläche. Hierbei gelten dieselben Reflexionsgesetze (Greulich, 2000b). Die Schallabsorption ist definiert als Abnahme der Schwingungsenergie einer sich ausbreitenden Welle durch Umwandlung in Wärmeenergie. Damit dies möglich ist, muss der Schall jedoch zunächst in das entsprechende Medium eindringen können. Somit sind ein geringer Schallwiderstand und eine damit einhergehende geringe Schallreflexion grundlegend für die Schallabsorption (Greulich, 2000b).

3.3. Relevanz der physikalischen Eigenschaften von Plastik

Wirft man erneut einen Blick auf Abb. 2 in Abschnitt 3.1.1., wird die Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten für Kunststoffe schnell ersichtlich. Allein Thermoplaste werden für die Herstellung von Verpackungen, Möbeln, Fahrzeugen, elektronischen Geräten, Haushaltswaren uvm. verwendet. Im Folgenden sollen deshalb einige Einsatzgebiete von Kunststoffen genauer betrachtet werden, für welche die Kunststoffe insbesondere aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften von Relevanz sind.

3.3.1. PET vs. Glas-Flasche

Aufgrund der geringen Dichte von Kunststoffen sind Objekte aus Kunststoff wesentlich leichter als vergleichbare Objekte aus anderen Materialien wie Glas oder Metallen. Infolgedessen sind Objekte aus Kunststoff einfacher zu transportieren und werden dadurch für die Verbraucher attraktiv. Die geringe Dichte von Kunststoffen hat jedoch nicht nur einen bequemeren Transport zur Folge, sondern sorgt gleichzeitig für einen geringeren Treibstoffverbrauch und CO₂-Ausstoß. Dies wirft die Frage auf, welches Verpackungsmaterial in Hinblick auf seine Ökobilanz zu bevorzugen ist. Das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg führte aus diesem Grund im Jahr 2010 eine Studie zum Vergleich der Ökobilanzen verschiedener Materialien von Getränkeverpackungen durch (Kauertz et al., 2010). Die PET-Mehrwegflasche schnitt hierbei am besten ab, während PET-Einwegflaschen und Glas-Mehrwegflaschen eine vergleichbare Ökobilanz aufwiesen. Bei differenzierter Betrachtung konnte hingegen festgestellt werden, dass die Ökobilanz regionaler Glas-Mehrwegflaschen besser ausfällt als die Ökobilanz von PET-

Einwegflaschen. Hierfür muss jedoch gewährleistet sein, dass die Glasflaschen über eine Strecke von maximal 60 km transportiert wurden (Kauertz et al., 2010).

3.3.2. Kunststoffe als Brillengläser

In den letzten Jahrzehnten wurde Glas bei der Herstellung von Brillengläsern immer mehr durch Kunststoffe ersetzt, sodass heutzutage 95 % aller hergestellten Brillengläser aus Kunststoff bestehen (Buser et al., 2018). Die Ursache hierfür liegt unter anderem darin, dass Brillengläser aus Kunststoff aufgrund ihrer geringen Dichte nur halb so schwer sind wie Brillengläser aus mineralischem Glas und damit einhergehend wesentlich komfortabler im Gebrauch. Gleichzeitig sind Kunststoffgläser weniger bruchanfällig und stellen dadurch ein geringeres Sicherheitsrisiko dar. Dies spielt insbesondere bei Kinder- und Sportbrillen eine tragende Rolle. Die geringere Bruchanfälligkeit gewährleistet überdies, dass Bohrungen an den Gläsern vorgenommen werden können, was die Herstellung rahmenloser Brillen ermöglicht. Im Gegensatz zu Brillengläsern aus Glas sind Kunststoffgläser hingegen kratzanfälliger. Die Kratzanfälligkeit kann zwar mit dem Auftragen einer Schutzschicht verringert werden, trotzdem ist beim Putzen und dem alltäglichen Umgang einer Brille mit Kunststoffgläsern eine höhere Sorgsamkeit geboten, um ein Verkratzen der Brillengläser zu vermeiden (Buser et al., 2018).

Ebenfalls von Relevanz für die Herstellung von Brillengläsern sind der Brechungsindex sowie die Abbe-Zahl, welche ein Maß für die Dispersion darstellt. Umso größer die Abbe-Zahl, umso geringer ist die auftretende Dispersion. Herkömmliche Brillengläser aus Glas haben in der Regel einen Brechungsindex von 1,525 und eine Abbe-Zahl von 58 (Buser et al., 2018). Der Kunststoff CR-39, welcher lange Zeit als Industriestandard galt, kommt mit einem Brechungsindex von 1,503 und einer Abbe-Zahl von 58 sehr nah an die Werte von Glas heran. Die meisten anderen verwendeten Kunststoffe weisen bei vergleichbarem Brechungsindex jedoch eine wesentlich geringere Abbe-Zahl (zwischen 30 und 36) und damit einhergehend stärkere Dispersion auf (Buser et al., 2018). Bei einer Erhöhung des Brechungsindex, welche sowohl bei Glas als auch bei Kunststoffen mit einer Verringerung der Abbe-Zahl einhergeht, verstärkt sich diese Differenz, da die Abbe-Zahl bei Kunststoffen mit Erhöhung des Brechungsindex schneller abnimmt als bei Glas. Zudem kann der Brechungsindex von Brillengläsern aus Glas durch Beimischung von Oxiden bis zu einem Wert von 1,9 erhöht werden, während der maximal erreichbare Brechungsindex von Kunststoffen bei 1,74 liegt. Aus diesen Gründen werden Brillengläser hoher

Dioptrien in der Regel weiterhin aus Glas hergestellt, während für alle anderen Brillen annähernd ausschließlich Kunststoffe verwendet werden (Buser et al., 2018).

3.3.3. Kunststoffe in Smartphone-Kameras

Aufgrund ihrer Kompaktheit stellen Smartphone-Kameras hohe Anforderungen an die für sie verwendeten Objektive und Bildsensoren. Da das Gehäuse eines Smartphones im Durchschnitt weniger als 8 mm dick ist, wird für die Aufnahme von Bildern eine Brennweite im einstelligen Millimeterbereich benötigt (Brückner et al., 2020). Dies kann mit einer Kombination ausschließlich sphärischer Linsen – also Linsen, welche überall denselben Krümmungsgrad aufweisen – nicht gewährleistet werden. Stattdessen werden insbesondere im hinteren Teil der Smartphone-Kamera stark asphärische Linsen benötigt (Brückner et al., 2020). So weist die letzte Linse eines Smartphone-Objektivs typischerweise eine W-Form auf (s. Abb. 6). Diese Form lässt sich mit konventionellen Herstellungstechniken wie dem Schleifen und Polieren von Glas jedoch nur schwerlich herstellen und wäre zusätzlich mit hohen Herstellungskosten verbunden (Schipper & Bäumer, 2006). Aus diesem Grund sind transparente Kunststoffe, deren optische Eigenschaften denen von Glas ähneln, für die Herstellung von Kamera-Objektiven unerlässlich. Mithilfe des Spritzgussverfahrens ist es möglich, Kunststoff-Linsen

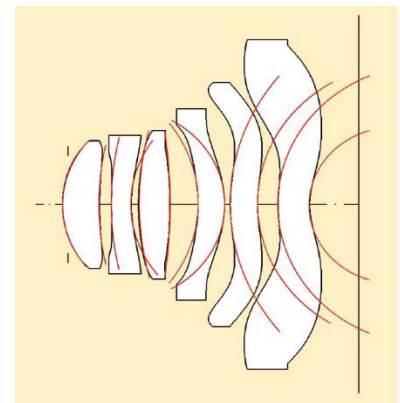


Abb. 6: Aufbau eines Weitwinkel-Smartphone-Objektivs [5].

in beliebig komplexen Formen herzustellen und gleichzeitig mechanische Elemente mit einzubauen, sodass Fassungen und Zwischenringe überflüssig werden (Schipper & Bäumer, 2006). Zudem liegen die Kosten für eine einzelne Kunststofflinse aufgrund der hohen Produktionszahlen und geringen Materialkosten im Cent-Bereich, was sie auch aus wirtschaftlicher Sicht attraktiv erscheinen lässt (Brückner et al., 2020).

3.3.4. Kunststoffe als Isolatoren

Wie in Abschnitt 3.2. bereits erwähnt, sind Kunststoffe gut zur elektrischen Isolation geeignet. Durch Reibung an Materialien, welche in der triboelektrischen Reihe weit entfernt von ihnen liegen, ist es jedoch möglich, dass sich Kunststoffe elektrostatisch aufladen. Die Aufladung kann hierbei so hoch werden, dass es zu einem Funkenübersprung kommt.

Dies kann insbesondere bei empfindlichen technischen Anwendungen verheerende Folgen haben. Wird beispielsweise das Gehäuse eines Elektronikchips durch Reibung elektrostatisch aufgeladen, kann eine Entladung zur Zerstörung des Elektronikchips führen. Aus diesem Grund sollte bei einer Isolation darauf geachtet werden, mit welchen anderen Materialien der Isolator in Kontakt kommt, um eine hohe elektrostatische Aufladung und eine damit einhergehende Ladungsübertragung zu vermeiden (Roth & Stahl, 2018).

3.3.5. Kunststoffe zur Verbesserung der Raumakustik und Schalldämmung

Lärm stellt in unserer aktuellen Gesellschaft ein großes Problem dar. Ununterbrochen sind wir von Geräuschquellen umgeben wie dem Radio, dem Verkehr, Staubsaugegeräuschen oder dem Lärm von Gartengeräten. Wie hoch die von Menschen empfundene Lautstärke ist, wird in der Einheit Dezibel (dB) gemessen und angegeben. Hierbei entsprechen 0 dB der Hörschwelle des Menschen, 40 dB einem Flüstern und 80 dB dem Straßenverkehr. Einige weitere Beispiele sowie die entsprechende Hörempfindung können in Tabelle 3 nachgelesen werden. Anzumerken ist hierbei, dass eine Verdopplung der Schallintensität keine Verdopplung des Lautstärkeempfindens zur Folge hat. Stattdessen hängt die empfundene Lautstärke logarithmisch von der Schallintensität ab (Pospiech & Siemens, 2005).

Aufgrund der ohnehin hohen Lautstärkebelastung sind Materialien zur Schalldämmung in verschiedensten Bereichen von Bedeutung. Sie werden einerseits genutzt, um Schall von außerhalb abzuschirmen, und andererseits, um die Akustik innerhalb eines Raumes zu verbessern. Zweiteres zählt zum Gebiet der Raumakustik, welche sich mit der „Verbesserung der Hörsamkeit“ (Greulich, 2000a, S. 418) beschäftigt. Hierzu zählt unter anderem die Optimierung der Akustik in Theatersälen und Konzerthäusern, welche eine „Wissenschaft für sich“ (Pospiech & Siemens, 2005, S. 27) darstellt und aus diesem Grund an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden soll. Aber auch alltägliche Probleme wie die Lautstärke im Klassenraum zählen zum Bereich der Raumakustik. Durch Anbringen schallabsorbierender Materialien ist es beispielsweise möglich, den durchschnittlichen Lautstärkepegel in einem Klassenzimmer bereits erheblich zu senken. Grund hierfür ist, dass der Schall an der Oberfläche der Materialien nicht reflektiert, sondern absorbiert wird, wodurch die Entstehung eines Nachhalls vermieden wird (Pospiech & Siemens, 2005).

Tabelle 3: Alltagsbeispiel und Hörempfindung für die Lautstärke in dB (Pospiech & Siemens, 2005, S. 54).

Lautstärke in dB	Auswirkungen und Beispiele	Hörempfindung
180	Tödliche Lautstärke	
155	Haut verbrennt, Zerstörung des Innenohres	
135	Schmerzgrenze	Unerträglich
130	Startendes Düsenflugzeug	
120	Rockkonzert, Fluglärm, Martinshorn	
110	Presslufthammer, Autohupe (Abstand 1 m), Donner	Sehr laut
100	Disco, Sägewerk, Motorrad ohne Schalldämpfer	
90	Hörschäden	Laut
80	Straßenverkehr, Pkw	
70	Nervliche Beeinträchtigung, lautes Rufen, Mofa	
60	Schreibmaschine, Büro	Leise
50	Unterhaltung	
40	Flüstern	
30	Blätterrascheln	ruhig
20	Taschenuhr	
10	Atmen	
0	Hörschwelle	

Für den Einsatz schallabsorbierender Materialien eignen sich unter anderem aufgeschäumte Kunststoffe. Aufgrund der großen Poren im Schaumstoff ist es dem Schall ohne Probleme möglich in das Material einzudringen. Innerhalb des Materials wird die Schallenergie anschließend durch Reibung an der rauen Oberfläche in Wärmeenergie umgewandelt (Möser, 2012).

Teil II: Praktischer Teil

4. Entwicklung des Schülerlabors

Im Schülerlabor zum Thema Plastik sollen die Schüler*innen der E-Phase die physikalischen Eigenschaften von Kunststoffen und möglichen Alternativen untersuchen und Vergleiche zwischen den verschiedenen Materialien herstellen. Ein großer Bestandteil der Entwicklung des Labors bildete somit die Auswahl geeigneter physikalischer Eigenschaften und Materialien für die Untersuchung im Rahmen des Schülerlabors. Im folgenden Abschnitt soll genauer erläutert werden, auf welcher Grundlage diese Auswahl getroffen wurde. Des Weiteren wird in diesem Abschnitt auf die methodischen Überlegungen sowie auf die Entwicklung des Feedbackbogens für die Erprobung des Schülerlabors eingegangen.

4.1. Erste Schritte

Wenn ich an meine ersten Ideen und Gedanken zum Schülerlabor zurückdenke, muss ich sehr schnell feststellen, dass das fertige Schülerlabor gänzlich anders aussieht, als ich mir dieses zunächst vorgestellt habe. Eine meiner ersten Überlegungen bestand darin, einen Schwerpunkt auf biologisch abbaubare Kunststoffe zu legen und deren physikalische Eigenschaften mit denen herkömmlicher Kunststoffe zu vergleichen. In Bezug auf diese Idee musste ich jedoch schnell feststellen, dass biologisch abbaubare Kunststoffe mit Ausnahme von PLA bisher kaum in der Gesellschaft angekommen sind, wodurch sie schwer zu beschaffen sind, während sich zeitgleich kaum Anwendungsbeispiele finden lassen. Zudem erschien mir die Betrachtung biologisch abbaubarer Kunststoffe geeigneter für die Untersuchung biologischer oder chemischer Eigenschaften. Einer der Gründe hierfür ist, dass physikalische Eigenschaften von Kunststoffen vor allem in Bereichen von Interesse sind, in welchen die Materialien über einen langen Zeitraum genutzt werden, wie beispielsweise bei Schalldämmungen oder Brillengläsern. Da biologisch abbaubare Kunststoffe schnell spröde werden, sind sie für den Langzeitgebrauch jedoch ungeeignet.

Eine weitere Überlegung zu Beginn der Entwicklung bestand darin, dass sich die Schüler*innen mit den Stationen durch die verschiedenen Bereiche des Haushalts bewegen, um einen starken Alltagsbezug zu schaffen. Die Stationen hätten dann lauten können *Plastik in der Küche*, *Plastik in technischen Geräten*, *Plastik im Garten* und *Plastik im Musikzimmer*. Auch diese Idee habe ich wieder verworfen, da es auf mich stimmiger

wirkte, die Stationen nach den physikalischen Eigenschaften zu ordnen. Zudem hätte das Thema Haushalt aus meiner Sicht einen zu engen Rahmen vorgegeben, welcher an manchen Stellen künstlich erzwungen gewirkt hätte.

4.2. Auswahl der untersuchten physikalischen Eigenschaften

Um zu entscheiden, welche physikalischen Eigenschaften im Rahmen des Schülerlabors untersucht werden sollen, wurde zunächst eine Liste mit physikalischen Eigenschaften angefertigt und zu jeder Eigenschaft nach geeigneten Experimenten recherchiert. Auf Basis dieser Recherche wurde dann versucht, eine stimmige Auswahl an Experimenten zu treffen, welche im Schülerlabor durchführbar ist und gleichzeitig das Interesse und die Motivation der Schüler*innen weckt. Darüber hinaus sollen sich die ausgewählten Experimente und die damit einhergehenden Eigenschaften vier übergeordneten Themen mit alltäglicher Relevanz zuordnen lassen, um ein Schülerlabor bestehend aus vier Stationen kreieren zu können, aus welchem die Schüler*innen etwas für das alltägliche Leben mitnehmen können.

Dichte und Schwimmfähigkeit

Die erste Eigenschaft, welche für die Entwicklung des Schülerlabors genauer in Augenschein genommen wurde, war die Dichte. Hierzu ließen sich sowohl Experimente zur ungefähren Einordnung von Dichten als auch zur Bestimmung der exakten Dichte finden. Bei den Versuchen zur ungefähren Einordnung von Dichten handelt es sich um Schwimmproben. Es werden somit Materialien in Flüssigkeiten verschiedener Dichten wie Leitungswasser und gesättigte Kochsalzlösung gegeben und anhand der Schwimmfähigkeit festgestellt, ob die Dichten der Materialien größer oder kleiner als die Dichten der entsprechenden Flüssigkeiten sind (Grottemeyer & Herges, 2016).

Zur Bestimmung der exakten Dichte wurden zwei verschiedene Versuche ausprobiert: die Dichtebestimmung mittels Überlaufversuch⁹ und mittels hydrostatischer Wägung¹⁰. Der erste Versuch arbeitet mit dem Prinzip der Wasserverdrängung. Hierbei wird das verdrängte Wasser aufgefangen und darüber das Volumen des zu untersuchenden Objekts bestimmt. Der zweite Versuch basiert auf dem archimedischen Prinzip und der scheinbar

⁹ <https://www.leifiphysik.de/mechanik/masse-volumen-und-dichte/versuche/selbstbau-eines-ueberlaufgefasses> [09.10.2022]

¹⁰ <https://www.seilnacht.com/versuche/dichteb.html> [09.10.2022]

verringerten Gewichtskraft eines Objektes in Wasser aufgrund der Auftriebskraft. Bei der Durchführung der zweiten Versuchsvariante fiel jedoch auf, dass äußerst exakt und mit großem Fingerspitzengefühl gearbeitet werden muss, um einigermaßen genaue Ergebnisse zu erhalten. Aus diesem Grund ist der Versuch aus meiner Sicht nicht als Schülerversuch geeignet und birgt die Gefahr, Frustration bei den Schüler*innen hervorzurufen. Die erste Versuchsvariante hingegen lieferte speziell für größere Objekte ausreichend genaue Ergebnisse und schien in Form eines Schülerversuchs gut umsetzbar zu sein.

Da der Schwimmversuch und die Bestimmung der Dichte mittels Überlaufversuch als geeignet für das Schülerlabor erschienen und das Thema Dichte zusätzlich in der Diskussion um die Nachhaltigkeit von Verpackungsmaterialien eine wichtige Rolle spielt, wurde die Untersuchung der Dichte somit in das Schülerlabor mitaufgenommen.

Des Weiteren wurde überlegt, einen Versuch zur Wasserreinigung auf Basis des Dichteunterschieds in das Schülerlabor miteinzubauen. Ein solcher Versuch verursacht jedoch erfahrungsgemäß eine große Unordnung, sodass das Aufräumen zu viel Zeit in Anspruch nehmen würde, um den Versuch im zeitlichen Rahmen des Schülerlabors realisieren zu können.

Steifigkeit und Festigkeit

Steifigkeit und Festigkeit stellen zwei wichtige Größen der technischen Mechanik dar, welche typischerweise mittels eines Zugversuchs bestimmt werden. Zur Durchführung dieses Versuchs benötigt man jedoch eine Apparatur, welche sehr hohe Zugkräfte aufbringen und die ausgeübte Belastung gleichzeitig messen kann. Solche Apparaturen sind bedauerlicherweise kostenintensiv und aufgrund der hohen aufzubringenden Kräfte zusätzlich nicht für die Nutzung durch Schüler*innen geeignet. Deswegen wurde entschieden, die physikalischen Eigenschaften Steifigkeit und Festigkeit nicht im Schülerlabor untersuchen zu lassen.

Optische Eigenschaften

Optische Eigenschaften von Kunststoffen spielen unter anderem bei der Brillen- und Smartphone-Herstellung eine wichtige Rolle und stellen für die Schüler*innen somit ein interessantes Thema mit alltäglicher Relevanz dar. Zusätzlich eignen sich optische Eigenschaften dazu, die Optik-Kenntnisse der Schüler*innen aus der Sekundarstufe 1 nochmals aufzugreifen und zu vertiefen. Aus diesem Grund stellt die Betrachtung der optischen Eigenschaften ein für das Schülerlabor ideal geeignetes Thema dar.

In Bezug auf die optischen Eigenschaften können unter anderem die Reflexions- und Transmissionseigenschaft untersucht werden. Dazu passend gibt es ein Lehrvideo der Hochschule Koblenz, in welchem in Form eines Experiments die Reflexionseigenschaften verschiedener Kunststoffe, eines Spiegels, Glas und Aluminium untersucht und miteinander verglichen werden (Kohl, 2021). Des Weiteren ist es mithilfe eines Laserstrahls möglich, den Brechungsindex verschiedener transparenter Materialien zu bestimmen und miteinander zu vergleichen (Roth & Stahl, 2019). Beide Experimente sind gut für die Durchführung im Schülerlabor geeignet und ermöglichen gleichzeitig die Herausarbeitung jener Kunststoffe, welche als Glasersatz geeignet sind.

Überdies ist bei der Recherche zum Thema Optik ein Artikel zu Smartphone-Objektiven aufgekommen, in welchem der Aufbau eines klassischen Weitwinkelobjektivs für Smartphone-Kameras abgebildet ist (s. Abb. 6) (Brückner et al., 2020). Da im Schülerlabor bereits im Bereich der Optik mit dem Programm Algodoo gearbeitet wird, soll dieses genutzt werden, um den in Abb. 6 gezeigten Aufbau eines Smartphone-Objektivs anschaulich darzustellen. Hierzu wurden die Linsen mithilfe eines Vektorgrafik-Programms nachgezeichnet und anschließend in Algodoo importiert. Die erstellte Datei soll den Schüler*innen ermöglichen, die Auswirkungen der Linsen auf verschieden einfallende Strahlen am Computer selbstständig zu untersuchen.

Um die Notwendigkeit des komplexen Aufbaus herauszuarbeiten, wurde mit GeoGebra eine Datei erstellt, welche den Strahlengang einer Sammellinse in Abhängigkeit der Größe und Entfernung eines abgebildeten Gegenstands darstellt. Auch aus dem Simulationsangebot PhET der University of Colorado Boulder habe ich hierzu eine Simulation gefunden¹¹. Diese ist zwar für die Schüler*innen optisch ansprechender als die erstellte GeoGebra-Datei, besitzt aber zu viele Einstellungsmöglichkeiten, welche vom Wesentlichen ablenken könnten. Zudem ist es mit GeoGebra möglich, den im Smartphone fest verbauten Sensor miteinzuzichnen, weshalb die zu erarbeitende Problematik anhand der eigens erstellten Datei deutlicher hervorgehoben werden kann.

Das Thema Optik bietet somit eine große Möglichkeit an Real- und Computer-Experimenten, welche sich gut mit für Schüler*innen relevanten Themen verknüpfen lassen. Aus diesem Grund wurde die Betrachtung der optischen Eigenschaften in das Schülerlabor miteinbezogen.

¹¹ https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_de.html [09.10.2022]

Thermische Verformbarkeit und Schmelzverhalten

Zur thermischen Verformbarkeit und dem Schmelzverhalten von Kunststoffen wurden drei ansprechende Experimente gefunden. In den Experimenten, welche von Stolze (2010) und Blume und Wiechoczek (2004a) beschrieben werden, wird ein Kunststoff geschmolzen und in eine bestimmte Form gegossen, in welcher er anschließend aushärtet. Der Versuch von Blume und Wiechoczek (2004a), welcher einen Bunsenbrenner zum Erhitzen und einen Plätzchenausstecher für die Formgebung nutzt, wirkte hierbei auf den ersten Blick wesentlich simpler als der Versuch von Stolze (2010). Da die meisten Betreuer*innen des Schülerlabor Physik jedoch Physikstudenten sind, bei welchen die Nutzung eines Bunsenbrenners in der Regel einige Jahre zurückliegt, erschien die Nutzung eines Bunsenbrenners im Schülerlabor als nicht sicher genug. Aus diesem Grund wurde zunächst der Versuch von Stolze (2010) in abgewandelter Form ausprobiert. Im Versuch von Stolze (2010) werden eine Herdplatte und ein Heißluftföhn zum Erhitzen verwendet. Da es Schüler*innen jedoch nicht erlaubt ist, mit einem Heißluftföhn zu arbeiten, wurde versucht, das Experiment ausschließlich mithilfe einer Herdplatte durchzuführen. Dies lieferte jedoch nicht das gewünschte Ergebnis, sodass auch diese Variante des Versuchs verworfen werden musste.

Ein weiterer Versuch für die Betrachtung des Schmelzverhaltes stammt ebenfalls von Blume und Wiechoczek (2004b). In diesem werden verschiedene Kunststoffe in einem Reagenzglas mithilfe eines Bunsenbrenners zunächst schwach und anschließend stärker erhitzt. Währenddessen sollen die Schüler*innen auf die Änderung der Farbe, die Bildung von Dämpfen und den sich entwickelnden Geruch achten. Wie beim zuvor beschriebenen Experiment von Blume und Wiechoczek (2004a) ergibt sich jedoch auch hier die Problematik bezüglich der Nutzung des Bunsenbrenners. Zusätzlich schien mir der Versuch geeigneter für ein Schülerlabor der Chemie als für ein Schülerlabor der Physik zu sein, so dass letztlich beschlossen wurde, die Verformbarkeit, Wärmebeständigkeit und das Schmelzverhalten nicht im Rahmen des Schülerlabors zu thematisieren.

Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit eines Materials lässt sich sehr einfach überprüfen, indem das Material mithilfe von Krokodilklemmen mit einer 4,5 V-Batterie und einem Glühlämpchen in Reihe geschaltet wird. Dies sollte mit verschiedenen Kunststoffproben und weiteren Materialien problemlos von den Schüler*innen durchgeführt werden können und

stellt gleichzeitig einen einfachen, wiederholenden Einstieg in das Thema der E-Lehre dar. Dass Kunststoffe elektrischen Strom nicht leiten, ist zudem eine für den Alltag relevante physikalische Eigenschaft, da sie aufgrund dessen für die Isolation von Kabeln und anderen technischen Geräten verwendet werden können.

Aus diesen Gründen sollte die Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit in das Schülerlabor zum Thema Plastik unter der Bedingung mitaufgenommen werden, dass weitere geeignete Versuche zum Thema E-Lehre gefunden werden.

Dielektrizität

Das Thema Dielektrizität ist nach dem Hessischen Kerncurriculums weder Teil der Sekundarstufe I (2016a) noch der Sekundarstufe II (2016b). Zudem ist für das Verständnis von Dielektrizität ein Grundwissen in Bezug auf Kondensatoren von Nöten, welches erst in der Q1 aufgebaut wird¹². Obwohl das Schülerlabor für die E-Phase entwickelt werden sollte und die Schüler*innen die nötigen Kenntnisse zu diesem Zeitpunkt somit noch nicht besitzen, habe ich nichtsdestotrotz überlegt, die Dielektrizität in das Schülerlabor mit aufzunehmen. Mithilfe einer Simulation von PhET¹³ sollten die Schüler*innen hierbei die grundlegenden Einflüsse auf die Kapazität eines Plattenkondensators selbstständig erarbeiten. Im Anschluss sollten die Schüler*innen den Einfluss verschiedener Materialien zwischen den Kondensatorplatten auf die Kapazität untersuchen. Hierzu wurde ein Versuch von LEIFI-Physik erwogen.¹⁴ Da für den Versuch Spannungen von bis zu 300 V benötigt werden, darf dieser jedoch ausschließlich unter speziellen Sicherheitsvorkehrungen eigenständig von den Schüler*innen durchgeführt werden. Nach den Beschlüssen der Kultusministerkonferenz (2019) ist hierfür beispielsweise ein Notausschalter direkt am Arbeitsplatz von Nöten. Da dies im Schülerlabor Physik nicht gegeben ist, musste das Experiment somit zwangsweise ausgeschlossen werden. Um das Thema trotzdem behandeln zu können, wurde nach Simulations-Baukästen gesucht, mit welchen die Schüler*innen den Versuch am Computer durchführen können. Es konnte jedoch kein Baukasten gefunden werden, welcher es ermöglicht, verschiedene Materialien, insbesondere Kunststoffe, zwischen den Kondensatorplatten zu platzieren und somit eine Vergleichbarkeit in Bezug auf die Auswirkungen auf die Kapazität zu schaffen.

¹² Hessisches Kultusministerium, 2016b

¹³ https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_de.html [10.10.2022]

¹⁴ <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/kondensator-kapazitaet/versuche/kapazitaet-des-platten-kondensators> [10.10.2022]

Aufgrund der mangelnden Umsetzbarkeit wurde entschieden, das Thema Dielektrizität im Rahmen des Schülerlabors nicht zu behandeln.

Elektrostatische Eigenschaften

Wie zuvor bereits thematisiert sind Kunststoffe nicht elektrisch leitend und werden aus diesem Grund als Isolatoren verwendet. Nichtsdestotrotz besitzen Kunststoffe elektrostatische Eigenschaften und können sich somit elektrisch aufladen. Kommt es dabei zum Überschlag, können empfindliche technische Geräte wie in Abschnitt 3.3.4. bereits beschrieben, zerstört werden. Aus diesem Grund ist die Betrachtung der elektrostatischen Eigenschaften von Kunststoffen von hoher Relevanz.

Zudem lassen sich viele Experimente zum Thema Elektrostatik finden, welche von Schüler*innen ohne großen Aufwand selbstständig durchgeführt werden können. Durch Reiben mit einem Wolltuch an einem Kunststoffobjekt ist es beispielsweise möglich, Papierschnipsel hochspringen zu lassen¹⁵ oder die auf dem Kunststoffobjekt entstandene Ladung mithilfe eines Elektroskops zu messen (s. Steger, 2004, S. 15). Mithilfe einer Glimmlampe kann zudem herausgearbeitet werden, dass einige Materialien durch die Reibung am Wolltuch positiv und andere negativ aufgeladen werden (s. Götz et al., 1992, S. 126). Aufgrund dessen kann zwischen Materialien, welche durch das Reiben an einem Wolltuch elektrostatisch aufgeladen wurden, entweder eine Anziehung oder eine Abstoßung beobachtet werden. Um diesen Effekt sichtbar zu machen, sollte eines der Objekte zunächst drehbar aufgehängt (s. Degen, 2018) oder platziert worden sein (s. Steger, 2004, S. 8 & Götz et al., 1992, S. 125), da die entstehende Anziehung und Abstoßung teilweise nicht sehr stark ausfällt. Alle der beschriebenen Experimente sind nicht nur einfach durchzuführen, sondern haben gleichzeitig eine sehr faszinierende Wirkung auf Schüler*innen. Zudem lassen sich die Experimente gut mit der aus der alltäglichen Relevanz entspringenden Problematik verknüpfen, sodass entschieden wurde, die Betrachtung elektrostatischer Eigenschaften in das Schülerlabor mit aufzunehmen.

Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit von Materialien spielt unter anderem bei der Wärmedämmung sowie der Produktion von Küchenobjekten wie Kochlöffeln, Kochtöpfen oder Thermoskannen eine wichtige Rolle. Je nach Einsatzgebiet ist es wichtig, dass die Objekte

¹⁵ https://www.ckw.ch/Resources/Persistent/03286f1e801c3dbbf869921c06877b7bcc99c5db/Dossier_Elektrostatik_Sek-I_L%C3%B6sungen.pdf [10.10.2022]

entweder eine gute Wärmeleitfähigkeit (z.B. Kochtopf) oder eine schlechte Wärmeleitfähigkeit (z.B. Kochlöffel oder Thermoskanne) besitzen. Die Bedeutung der Wärmeleitfähigkeit begegnet den Schüler*innen somit regelmäßig im Alltag. Zudem lassen sich die Wärmeleitfähigkeiten verschiedener Objekte in Form leicht durchführbarer Experimente gut miteinander vergleichen. Hierfür ist es beispielsweise möglich, Objekte aus verschiedenen Materialien in ein mit heißem Wasser gefülltes Gefäß zu geben und durch Anfassen festzustellen, welche der Materialien sich am schnellsten und stärksten erwärmen (s. Blume & Wiechoczek, 2005). Eine weitere Option zur Überprüfung der Wärmeleitfähigkeit besteht darin, Gefäße aus verschiedenen Materialien mit heißem Wasser zu füllen und zu messen, in welchem die Temperatur am schnellsten / langsamsten abnimmt¹⁶. Aufgrund der Dauer des Experiments ist für die Durchführung im Rahmen des Schülerlabors die erste der beschriebenen Varianten zu bevorzugen. Für beide Varianten besteht zudem die Möglichkeit, eine Wärmebildkamera oder einen Temperaturfühler zu nutzen, um die Experimente für die Schüler*innen noch motivierender gestalten zu können.

Aufgrund der gut durchführbaren Experimente und der Alltagsrelevanz ist die Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit somit für das Schülerlabor geeignet.

Akustische Eigenschaften

Die Betrachtung der akustischen Eigenschaften bietet aus didaktischer Sicht viele Vorteile. Hierzu zählen beispielsweise die Bedeutsamkeit für Umwelt und Alltag, die Möglichkeit der Vernetzung mit anderen Fächern sowie der Verständlichkeit des Themas (Pospiech & Siemens, 2005). Zudem eignen sich die Experimente zur Untersuchung der akustischen Eigenschaften in der Regel gut, um grundlegende physikalische Methoden zu erlernen, während gleichzeitig wenig physikalisches Vorwissen benötigt wird (Pospiech & Siemens, 2005). Da Kunststoffe wie beispielsweise PU-Schaum zur Schalldämmung genutzt werden, stellt das Thema zusätzlich ein alltagsrelevantes Thema dar. Aus diesem Grund werden in einer Station des Schülerlabors die akustischen Eigenschaften von Kunststoffen thematisiert.

Die Ideen für die in der Station durchgeführten Experimente stammen aus Pospiech und Siemens (2005). So beschreiben Pospiech und Siemens (2005) beispielsweise, dass man die Ausbreitung einer Schallwelle mithilfe eines Netwon-Pendels oder eines Slinkys modellhaft darstellen kann. Für die erste der beiden Varianten wird ein Blatt Papier benötigt,

¹⁶ <https://michaelseb0000.tripod.com/home/referate/waermeleifaehigkeit.pdf> [21.07.2022]

welches zwischen die Kugeln des Newton-Pendels gehalten wird, um zu zeigen, dass sich der Abstand zwischen diesen beim Anschlagen kurzzeitig verringert. Aufgrund der höheren Anschaulichkeit wurde die Darstellung mittels eines Slinkys gewählt. Ein weiteres Experiment, um zu verdeutlichen, dass sich Schall durch Verdichtung der Luftmoleküle und nicht durch den Transport dieser ausbreitet, ist die Betrachtung eines Schiffs auf Wasserwellen. Da sich das Schiff beim Wellengang nicht von seiner Stelle wegbewegt, zeigt dies, dass die Wasserteilchen wie auch die Luftteilchen bei der Ausbreitung einer Welle an ihrer Stelle verweilen. Der Vergleich einer Schallwelle mit einer Wasserwelle birgt jedoch die Gefahr der Vermischung des Konzepts einer Transversalwelle mit dem einer Longitudinalwelle, weshalb dieses Modell keine Anwendung im Schülerlabor findet.

Überdies beschreiben Pospiech und Siemens (2005) ein Experiment, mit welchem die Schwingungsanregung verschiedener Objekte miteinander verglichen werden kann. Hierfür wird eine Stimmgabel auf dem Objekt platziert und angeschlagen. Da zunächst keine Stimmgabel zur Verfügung stand, wurde das Experiment vorerst mit Gummibändern ausprobiert, welche um verschiedene Dosen gespannt wurden. Auch auf diese Weise ließ sich die Schwingungsanregung sehr gut beobachten, wobei sie nicht nur hörbar, sondern auch spürbar wurde. Aus diesem Grund wurde das Experiment letztlich in der beschriebenen abgewandelten Form in das Schülerlabor mitaufgenommen.

Auch für die Untersuchung der Schallleitung stellten Pospiech und Siemens (2005) mehrere Versuche dar. In einem der Versuche wird eine Platte verwendet, auf deren eine Seite ein tickender Wecker gelegt wird, während am anderen Ende der Platte gelauscht werden soll. Hierbei kann beobachtet werden, ob und wie laut das Ticken des Weckers am anderen Ende der Platte noch zu hören ist. In einem weiteren Versuch wurde anstelle einer Platte ein Rohr verwendet, an dessen unteres Ende ein tickender Wecker gelegt wurde. Da es nicht möglich war, alle der zu untersuchenden Materialien in Form eines Rohres zu erhalten, wurde entschieden, die Variante mit der Platte umzusetzen. Hierbei wurde der Wecker durch das Klopfen einer*Mitschülers*Mitschülerin ersetzt, um mehr Schüler*innen in das Experiment mit einbeziehen zu können.

Die restlichen Experimente der Station, in welchen die Schalldämmung und Raumakustik mithilfe von Pappboxen untersucht wird, wurden eigenständig entwickelt und sind in Kapitel 5.7. genauer beschrieben. Intention der Experimente war es, einen stärkeren Anwendungsbezug zu schaffen, weshalb die Untersuchung modellhafter Zimmer mit

unterschiedlichen Dämmmaterialien hierfür ideal erschien. Zur Messung der Lautstärke soll das Programm Phyphox verwendet werden, da dieses eine eigenständige Funktion hierfür bietet. Nach erstmaliger Durchführung der Experimente mussten keine weiteren Anpassungen vorgenommen werden, da die Experimente auf Anhieb die erwarteten Resultate lieferten.

Zusammenfassung

Für das Schülerlabor zum Thema Plastik wurden somit die folgenden physikalischen Eigenschaften ausgewählt: Dichte und Schwimmfähigkeit, optische Eigenschaften, elektrische Leitfähigkeit, elektrostatische Eigenschaften, Wärmeleitfähigkeit sowie akustische Eigenschaften.

4.3. Auswahl der untersuchten Materialien

4.3.1. Auswahl der untersuchten Plastiksarten

Da sehr viele verschiedene Plastiksarten existieren, musste deren Auswahl für das Schülerlabor auf eine überschaubare Anzahl beschränkt werden. Eines der entscheidenden Auswahlkriterien stellte hierbei die Alltagsrelevanz für die Schüler*innen dar. Dass die ausgewählten Plastiksarten den Schüler*innen teilweise täglich begegnen, hat zum Ziel, das Interesse und die Motivation der Schüler*innen zu stärken. Zudem soll hierdurch ein nachhaltiger Wissensaufbau ermöglicht werden, da das erworbene Wissen durch die regelmäßige Begegnung im Alltag immer wieder angeregt werden kann.

Ein weiteres, wichtiges Kriterium stellten die physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe dar, welche ausschlaggebend für deren Nutzung sind. Hierbei musste zusätzlich berücksichtigt werden, ob die physikalischen Eigenschaften im Rahmen des Schülerlabors untersucht werden können.

Die verschiedenen Kunststoffklassen abzudecken, stellte für mich kein Kriterium bei der Auswahl dar. Grund hierfür ist, dass dieses Kriterium mit dem Kriterium der Alltagsrelevanz kollidiert wäre. Während die meisten Duroplaste in der Regel unbekannter sind und deren Kenntnis für den Alltag keine große Rolle spielt, nehmen Thermoplaste einen sehr großen Teil der bekannten Kunststoffe ein. Aus diesem Grund werden im Schülerlabor in erster Linie Thermoplaste untersucht, während Duroplaste keinen Einzug in das Schülerlabor erhalten haben.

Die Wahl fiel schließlich auf sieben verschiedene Kunststoffe, welche im Rahmen des Schülerlabors untersucht werden sollen:

1. PET

Polyethylenterephthalat (PET) sollte der den Schüler*innen bekannteste Kunststoff sein. Dieser ist in erster Linie bekannt für die Verwendung von Getränkeflaschen, welche im Alltag auch als PET-Flaschen bezeichnet werden. Grund für die Dominanz von PET in diesem Bereich ist, dass es wirtschaftlich gut recycelbar, bruchstabil und reaktionsträge ist (Degen, 2020). Die Dichte von PET, welche zwischen $1,37 \frac{g}{cm^3}$ und $1,38 \frac{g}{cm^3}$ liegt (Saechtling et al., 1967), lässt PET-Flaschen zusätzlich gegenüber Glasflaschen attraktiver erscheinen, deren Dichte mit ungefähr $2,5 \frac{g}{cm^3}$ fast doppelt so groß ist wie die einer PET-Flasche¹⁷. Neben der Nutzung für Flaschen wird PET unter anderem für Textilfasern, Verpackungen und Reinigungsflaschen verwendet (Degen, 2020). Die Auswahl dieses Kunststoffes lässt sich somit mit der Bekanntheit sowie mit der Nachhaltigkeitsdebatte im Vergleich zur Wasserflasche begründen.

2. PE und PP

Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP) sind Kunststoffe, welche uns täglich im Alltag begegnen. Vor allem in Bezug auf Verpackungsmaterialien bilden diese Kunststoffe neben PS (Polystyrol) einen starken Vorreiter.

Bei PE handelt es sich um einen Kunststoff, welcher uns häufig in Form von nicht erhitzbaren Gegenständen begegnet. Grund hierfür ist, dass PE und PP im allgemeinen sehr ähnliche Eigenschaften besitzen, wobei PP eine höhere Wärmebeständigkeit als PE aufweist (Saechtling et al., 1967). Aus diesem Grund wird PE vornehmlich für Verpackungen wie z.B. Medikamentendosen, Kosmetikbehälter sowie Frischhaltefolie und Folienbeutel verwendet, während PP zusätzlich für Küchenutensilien verwendet wird (Degen, 2020). Schaut man in die eigenen Küchenschränke, wird man feststellen können, dass die meisten Schüsseln, Kochlöffel, Pfannenwender, etc., welche aus Kunststoff bestehen, aus PP hergestellt wurden. Der Nachteil von PP gegenüber PE ist hingegen, dass es bei Temperaturen unter 0 °C zu einer Versprödung des Materials kommen kann (Saechtling et al., 1967). Aus diesem Grund werden Gefrierbeutel meistens aus PE und nicht aus PP hergestellt (Degen, 2020).

¹⁷ <https://www.rct-online.de/magazin/glasarten-zusammensetzung-anwendung/> [08.11.2022]

Beide Kunststoffe bilden somit einen großen Anteil der im Alltag verwendeten Kunststoffe und wurden aus diesem Grund in das Schülerlabor mit aufgenommen.

3. PS

Polystyrol (PS) lässt sich im Gegensatz zu den vorherigen Materialien sehr leicht aufschäumen (Degen, 2020). Die aufgeschäumte Form ist besser bekannt unter dem Handelsnamen Styropor und sollte allen Schüle*innen im Alltag bereits begegnet sein. Man verwendet es beispielsweise zur Wärmedämmung oder als Verpackungsmaterial (Degen, 2020). In nicht aufgeschäumter Form wird PS hingegen für die Produktion von Lebensmittelverpackungen, Einwegbesteck, CD-Hüllen und Spielzeug eingesetzt.

PS wurde wie die anderen Materialien aufgrund der weiten Verbreitung in das Schülerlabor mit aufgenommen. Zudem besitzen die aufgeschäumte und nicht aufgeschäumte Form sehr unterschiedliche Einsatzgebiete, welche sich mit den unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften begründen lassen. Dies gibt Anlass, PS (nicht aufgeschäumt) und Styropor auf Unterschiede in Bezug auf ihre physikalischen Eigenschaften zu untersuchen. Im Rahmen des Schülerlabors werden die verschiedenen Formen von PS deswegen auf ihre akustischen Eigenschaften hin untersucht. Grund hierfür ist, dass es sich Styropor wie auch bei PU-Schaum, welcher häufig zur Schalldämmung verwendet wird, um einen aufgeschäumten Kunststoff handelt. Dadurch sollte bei der Betrachtung der Schalldämmung eine eindeutige Abstufung der Schallabsorption von PS (nicht aufgeschäumt) über Styropor bis hin zu PU-Schaum erkennbar sein.

4. PMMA

Polymethylmethacrylat (PMMA) wird beispielweise für Dach-, Wand- oder Objektverglasungen verwendet (Schüle, 2012). Grund hierfür ist, dass PMMA optische Eigenschaften besitzt, welche denen von Glas sehr nahekommen. So weist PMMA unter anderem vernachlässigbar kleine Absorptionsverluste, eine hohe Lichtdurchlässigkeit sowie einen gleichmäßigen und zeitunabhängigen Brechungsindex auf (Schüle, 2012). Im Gegensatz zu Glas ist PMMA hingegen wesentlich widerstandsfähiger und bietet zudem den Vorteil, dass es sich durch Spritzgießen in beliebige Formen bringen lässt. (Schüle, 2012).

PMMA wurde in das Schülerlabor aufgenommen, um die optischen Eigenschaften von Glas, PMMA und anderen Kunststoffen zu vergleichen und den Schüle*innen somit die Ähnlichkeit der optischen Eigenschaften von Glas und PMMA aufzeigen zu können. Zudem ist PMMA gut zur Dichtebetrachtung geeignet, da es eine Dichte von $1,18 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

(Schüle, 2012) besitzt, welche exakt der Dichte einer gesättigten Salzlösung entspricht. Aus diesem Grund schwimmt PMMA auf einer Salzlösung, nicht aber auf einfachem Leitungswasser. Hieraus können die Schüler*innen folgern, dass die Dichte von PMMA zwischen der Dichte von Leitungswasser¹⁸ von $1 \frac{g}{cm^3}$ und der Dichte der Salzlösung¹⁹ von $1,18 \frac{g}{cm^3}$ liegen muss.

5. PU

Polyurethan (PU) lässt sich wie PS gut aufschäumen und wird in aufgeschäumter Form unter anderem zur Schalldämmung verwendet (Degen, 2020). Aus diesem Grund ist PU-Schaum sehr gut für die Betrachtung der akustischen Eigenschaften von Kunststoffen geeignet und wurde deshalb in das Schülerlabor mit aufgenommen. Des Weiteren wird PU-Schaum für Schaumstoff in Polstern, Putzschwämmen und zur Wärmedämmung verwendet (Degen, 2020).

6. PLA

Polymilchsäure/Polylactid (PLA) hat in den letzten Jahren einen großen Aufschwung erlebt. Grund hierfür ist, dass PLA in industriellen Kompostieranlagen biologisch abgebaut werden kann (Degen, 2020). Dies macht ihn insbesondere attraktiv für die Nutzung von Einwegprodukten wie Einweggeschirr oder Lebensmittelverpackungen (Inone-Kauffmann, 2012). Zudem ist PLA eines der verbreitetsten Materialien für den 3D-Druck, dessen Popularität in den letzten Jahren ebenfalls stark zugenommen hat.

Da PLA der derzeit verbreitetste, biologisch abbaubare Kunststoff ist und in den letzten Jahren immer mehr an Relevanz gewonnen hat, wurde auch dieser in das Schülerlabor mitaufgenommen. Auch wenn PLA nicht für die Herstellung langlebiger Objekte geeignet ist, ist es relevant, dass die Schüler*innen mit den Vorzügen und Grenzen dieses Kunststoffes vertraut gemacht werden, da dieser immer mehr Einzug in die Gesellschaft erhält.

¹⁸ Karl Roth GmbH & Co. KG, 2022

¹⁹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2022

4.3.2. Auswahl alternativer Materialien

Neben den soeben aufgelisteten Kunststoffen sollen im Schülerlabor zum Thema Plastik alternative Materialien untersucht und die Vor- und Nachteile von deren Nutzung herausgearbeitet werden. Hierfür wurden als Materialien Glas, Holz, Pappe, Aluminium und Edelstahl ausgewählt.

Glas, Aluminium, Holz und Pappe wurden ausgewählt, da sie als Alternativen für Einweg-Kunststoffprodukte zum Einsatz kommen. So gibt es beispielsweise Flaschen aus Glas, Einwegbesteck aus Holz, Lebensmittelverpackungen aus Pappe und Getränkedosen aus Aluminium. Zudem eignet sich Glas zur Untersuchung der optischen Eigenschaften, während Pappe als Negativbeispiel für schalldämmende Materialien geeignet ist. Des Weiteren wurden Aluminium und Edelstahl ausgewählt, da sie im Gegensatz zu Kunststoffen elektrisch leitend und wärmeleitend sind und somit für einen Vergleich der elektrischen Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit genutzt werden können.

4.4. Methodische Überlegungen

Die Schülerlabore der Goethe Universität im Bereich der Physik sind in der Regel in Form von Stationen aufgebaut. Für das Schülerlabor zum Thema Plastik habe ich mich für die Unterteilung in vier verschiedene Stationen entschieden. Grund hierfür ist, dass es sich aufgrund der verschiedenen Anwendungsbereiche und Eigenschaften von Plastik geradezu anbietet, das Thema in verschiedene „thematische Pakete“ (Kunter & Trautwein, 2013, S. 133) zu unterteilen. Zusätzlich bietet die Methode der Stationsarbeit die Gelegenheit, verschiedene Sozialformen, Medien und weitere Methoden in das Schülerlabor mit einzubinden und somit für ein abwechslungsreiches Lernen zu sorgen (Kircher. & Girwidz, 2020).

In Bezug auf die Sozialformen habe ich sowohl Arbeit im Plenum, Partnerarbeit, als auch Gruppenarbeit in das Schülerlabor mit eingebunden, wobei die Arbeit im Plenum ausschließlich in der Einstiegsphase Anwendung findet. Die Nutzung von Partnerarbeit und Gruppenarbeit im Schülerlabor soll die Schüler*innen motivieren und die soziale Zusammenarbeit mit ihren Mitschüler*innen fördern. Zudem sollen durch die Diskussionen und Interaktionen in der Gruppe kognitive Prozesse angeregt werden, welche für eine tiefergreifende Auseinandersetzung mit der Thematik sorgen sowie Möglichkeiten zur Elaboration bieten (Kunter & Trautwein, 2013). Des Weiteren arbeiten die Schüler*innen durch

die Partner- und Gruppenarbeit an ihrer Kommunikationsfähigkeit sowie an der Fähigkeit zur Beschreibung physikalischer Vorgänge und Beobachtungen. Durch die Aufsicht von Betreuer*innen an jeder Station kann zusätzlich auf eine angemessene Fachsprache geachtet und auch diese weiterentwickelt werden. Außerdem können die Betreuer*innen möglichen Koordinationsschwierigkeiten oder Motivationsverlusten entgegenwirken, welche bei Gruppenarbeiten Kunter und Trautwein (2013) zufolge auftreten können.

Auch die Aufgabenformate für das Schülerlabor wurden vielfältig ausgewählt. So lassen sich im Schülerlabor unter anderem Leseaufgaben, Rechenaufgaben, Lückentexte, Freitextaufgaben sowie Aufgaben zur Wiederholung des Wissens aus der Sekundarstufe I finden. Letztere sind dazu gedacht, das bereits vorhandene Wissen zu reaktivieren und somit eine gemeinsame Wissensbasis zu schaffen, welche für die anschließenden Aufgaben benötigt wird.

Des Weiteren erhalten die Schüler*innen im Rahmen des Schülerlabors viele Gelegenheiten zum Experimentieren. Dies kann sich, wie in 2.3. bereits beschrieben, positiv auf die Aktivierung und Motivation ausüben und gleichzeitig das wissenschaftliche und kooperative Arbeiten der Schüler*innen fördern.

Für die Datenerfassung und Durchführung der Experimente werden unter anderem digitale Medien verwendet. Diese bieten, wie in 2.4. bereits beschrieben, viele verschiedene Einsatzmöglichkeiten und können sich gleichzeitig positiv auf den Lernerfolg, die Motivation und das Autonomieerleben der Schüler*innen auswirken.

Zusätzlich wurden in das Schülerlabor Aufgaben eingebunden, in welchen die Schüler*innen Modelle entwickeln oder anwenden sollen, um Erklärungen für gemachte Beobachtungen zu finden. Hierdurch soll der Umgang mit Modellen und damit einhergehend der Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung gefördert werden²⁰.

Bei der Gestaltung der Aufgaben für das Schülerlabor wurde zudem darauf geachtet, verschiedene Schwierigkeitsgrade abzudecken. So gibt es einige Aufgaben, in welchen die Schüler*innen ausschließlich Wissen reproduzieren müssen, Aufgaben, in welchen Bezüge zu vorherigen Aufgaben, Modellen oder dem Vorwissen hergestellt werden müssen, sowie Transferaufgaben.

²⁰ Hessisches Kultusministerium, 2016a

4.5. Entwicklung des Feedbackbogens

Das Ziel des Feedbackbogens (s. Anhang D), welcher für die Durchführung des Schülerlabors entwickelt wurde, besteht darin, eine grobe Einschätzung der Schüler*innen für die folgenden Fragestellungen zu erlangen:

- a) In Bezug auf welche Themen haben die Schüler*innen das Gefühl, etwas Neues gelernt zu haben?
- b) Hat den Schüler*innen die Arbeit im Schülerlabor Spaß gemacht?
- c) Empfanden die Schüler*innen den Anspruch des Schülerlabors als angemessen?
- d) Hat die Arbeit im Schülerlabor die Zusammenarbeit mit den Mitschüler*innen angeregt und gefördert?

Wichtig anzumerken ist, dass es sich beim Feedbackbogen nicht um eine wissenschaftlich fundierte Evaluation, sondern ausschließlich um eine grobe Rückmeldung handelt, anhand welcher Kritikpunkte und Verbesserungsmöglichkeiten für das Schülerlabor herausgearbeitet werden sollen.

Der Feedbackbogen ist unterteilt in einen Single-Choice- und einen Freitext-Teil. Hierbei fragt der Single-Choice-Teil die oben aufgeführten Ziele des Feedbackbogens ab, während der Freitext-Teil den Schüler*innen die Möglichkeit für spezielle Anregungen zur Verbesserung und zum Beibehalt bei zukünftigen Durchführungen des Schülerlabors gibt. Im Folgenden sind die im Single-Choice-Teil aufgeführten Fragen dargestellt:

- (1) Ich habe im Schülerlabor *Plastik* Neues über die physikalischen Eigenschaften von Kunststoffen gelernt.
- (2) Ich habe im Schülerlabor *Plastik* gelernt, wo und warum Plastik eingesetzt wird.
- (3) Ich habe im Schülerlabor *Plastik* Neues in Bezug auf die Nachhaltigkeit von Plastik gelernt.
- (4) Das Arbeiten im Schülerlabor *Plastik* hat mir Spaß gemacht.
- (5) Ich fand den Anspruch der Aufgaben im Schülerlabor *Plastik* angemessen.
- (6) Ich konnte die Wiederholungsaufgaben gut beantworten.
- (7) Ich habe während der Aufgaben mit meinen Mitschüler*innen zusammengearbeitet.
- (8) Ich habe mich während der Aufgaben immer wieder mit meinen Mitschüler*innen ausgetauscht.

Die Fragen (1) bis (3) zielen auf die Ermittlung von a) ab, (4) auf die Ermittlung von b), (5) und (6) auf die Ermittlung von c) und (7) und (8) auf die Ermittlung von d).

Für jede Fragestellung gibt es fünf verschiedene Antwortmöglichkeiten, zwischen denen sich die Schüler*innen entscheiden können. Die Antwortmöglichkeiten reichen von *ich stimme voll zu* (++) über *ich stimme zu* (+), *ich stehe der Aussage neutral gegenüber* (0) und *ich stimme nicht zu* (-) bis hin zu *ich stimme überhaupt nicht zu* (--).

5. Darstellung des Schülerlabors

Im Folgenden wird die erste Version des fertig entwickelten Schülerlabors dargestellt. Das Aufgabenheft, welches hierfür entwickelt wurde und die Schüler*innen durch die verschiedenen Stationen leiten soll, ist in Anhang A zu finden. Für die Beschreibung des Schülerlabors wird im Folgenden fortlaufend Bezug auf einzelne Aufgabenstellungen genommen. Aus diesem Grund wurden die Aufgaben des Forscherhefts in Anhang A durchnummeriert. Die Nummerierung setzt sich zusammen aus dem Aufgabentyp (W = Wiederholungsaufgabe, A = Schreibaufgabe, L = Leseaufgabe und V = Versuch), der Stationsnummer und der Stellung der Aufgabe in der Station. So erhält die erste Wiederholungsaufgabe von Station 1 beispielsweise die Aufgabennummer W1.1.

5.1. Ablauf des Schülerlabors

Das Schülerlabor zum Thema Plastik ist in vier Stationen sowie eine kurze Einführung unterteilt. Die Einführung wird im Plenum durchgeführt, während innerhalb der einzelnen Stationen in Gruppen- oder Partnerarbeit gearbeitet wird. Für die Stationsarbeit werden die Schüler*innen ausgeglichen auf die vier Stationen aufgeteilt und bekommen dann ungefähr 45 Minuten Zeit für die Bearbeitung der jeweiligen Station. Nach den 45 Minuten wechseln die Schüler*innen im Uhrzeigersinn die Station und bekommen erneut 45 Minuten Zeit für die Bearbeitung der zweiten Station. Anschließend ist eine 30-minütige Pause eingeplant, bevor die Schüler*innen erneut rotieren und jeweils 45 Minuten für die Bearbeitung der letzten beiden Stationen zur Verfügung haben. Hierbei sollte sich im Idealfall an jeder Station eine studentische Hilfskraft befinden, welche den Schüler*innen bei potenziell aufkommenden Fragen oder Schwierigkeiten behilflich sein kann. Im Anschluss an die Stationsarbeit gibt es eine kurze Reflexionsrunde, in welcher besprochen wird, was die Schüler*innen im Schülerlabor gelernt haben, um das erworbene Wissen zu festigen. Zudem sollen die Schüler*innen im Anschluss an das Schülerlabor einen kurzen Evaluationsbogen ausfüllen, dessen Ziele in Abschnitt 4.5. dargestellt wurden.

5.2. Ziele des Schülerlabors

Im Schülerlabor zum Thema Plastik sollen die Schüler*innen verschiedene Plastiksorten sowie Alternativen zu diesen kennenlernen und deren physikalische Eigenschaften untersuchen. Anhand dieser Untersuchungen sollen die Schüler*innen Vor- und Nachteile der verschiedenen Materialien ermitteln und somit ein Verständnis dafür entwickeln, warum die verschiedenen Plastiksorten in unterschiedlichen Bereichen zum Einsatz kommen. Zudem sollen sich die Schüler*innen mit umweltschädlichen Aspekten von Kunststoffen und alternativen Möglichkeiten auseinandersetzen.

Parallel zu den eben genannten Zielen sollen die Schüler*innen im Schülerlabor die Inhalte der Sekundarstufe I zu den Themen Dichte, Reflexion, Brechung, Elektrostatik und elektrische Leitfähigkeit wiederholen. Hierfür gibt es in den einzelnen Stationen regelmäßig Aufgaben, welche mit  [6] markiert sind. Aufgrund des Wiederholungscharakters ist das Schülerlabor in erster Linie für die E-Phase angedacht, sollte aber auch von Klasse 10 (bei G9) bzw. Klasse 9 (bei G8) problemlos bearbeitet werden können. Das Schülerlabor bietet somit die Möglichkeit, ein besseres Verständnis für bereits behandelte Inhalte der Sekundarstufe 1 aufzubauen und diese gleichzeitig zu vertiefen.

5.3. Einstiegsphase des Schülerlabors

Die Einstiegsphase des Schülerlabors zum Thema Plastik besteht aus einer kurzen Präsentation (s. Anhang C). Durch verschiedene Fragen sollen die Schüler*innen in die Präsentation mit eingebunden und somit aktiviert werden. Im Rahmen der Präsentation werden die Schüler*innen zunächst gefragt, welche physikalischen Eigenschaften sie bereits kennen. Die genannten Eigenschaften werden im Folgenden von der Referentin durch die in der Präsentation aufgeführten Beispiele ergänzt. Anschließend erhalten die Schüler*innen die Frage, welche Plastiksorten sie bereits kennen und wo diese zum Einsatz kommen. Zur Ergänzung der Schülerantworten sind in der Präsentation mehrere Bilder eingefügt, welche die Einsatzgebiete verschiedener Kunststoffe zeigen. Die auf den Bildern abgebildeten Plastiksorten entsprechen dabei gerade den Plastiksorten, welche im Folgenden im Rahmen des Schülerlabors untersucht werden sollen. Somit erhalten die Schüler*innen einen ersten Überblick über die für das Schülerlabor relevanten Kunststoffe und lernen deren Namen, Abkürzungen und beispielhafte Einsatzgebiete kennen. Nach der Einführung durch die Präsentation wird den Schüler*innen der Ablauf des Schülerlabors erklärt und das Forscherheft (s. Anhang A) ausgeteilt.

Auf den ersten Seiten des Forscherhefts finden die Schüler*innen alle Namen, Abkürzungen und Einsatzgebiete der in der Präsentation vorgestellten Kunststoffe in einer tabellarischen Übersicht (s. Anhang A, S. 3). Somit haben die Schüler*innen die Möglichkeit, jederzeit zum Anfang des Hefts zurückzublättern und sich einige beispielhafte Einsatzgebiete der Plastiksorten anzusehen. Zusätzlich ist in der Tabelle vermerkt, ob der jeweilige Kunststoff biologisch abbaubar ist.

Des Weiteren befindet sich auf den ersten Seiten des Forscherhefts eine Symbolübersicht. Jedes der Symbole taucht im Forscherheft mehrfach auf und signalisiert entweder einen Aufgabentyp oder macht die Schüler*innen auf einen Hinweis aufmerksam (s. Tabelle 4).

Tabelle 4: Symbolübersicht.

Symbol	Bedeutung
 [6]	Wissen aus der Schule wird wiederholt.
 [7]	Die Aufgabe soll schriftlich bearbeitet werden.
 [8]	Es muss ein Text gelesen werden.
 [9]	Es handelt sich um ein Experiment.
 [10]	Es muss mit dem Laptop oder dem Smartphone gearbeitet werden.
 [11]	Macht auf einen Hinweis aufmerksam.

5.4. Station 1: Plastik und die Umwelt

Die erste Station des Schülerlabors beschäftigt sich mit dem Thema Dichte sowie einigen Umweltaspekten von Kunststoffen. Ziel der Station ist, dass die Schüler*innen den Begriff der Dichte wiederholen und gleichzeitig ein Gefühl für die Größenordnung der Dichte verschiedener Kunststoffe sowie alternativer Materialien entwickeln. Zudem sollen die Schüler*innen lernen, welche Vor- und Nachteile eine PET-Flasche gegenüber einer Glasflasche in Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit hat.

5.4.1. Aufbau von Station 1

Um einen ersten Überblick über die Größenordnung der Dichten verschiedener Materialien zu gewinnen, führen die Schüler*innen im Rahmen von Station 1 zunächst einen Schwimmversuch mit Leitungswasser und gesättigter Salzlösung durch (V1.1). Zur Vorbereitung auf diesen Versuch sollen die Schüler*innen anhand ihres Vorwissens die Frage beantworten, wann ein Objekt im Wasser untergeht und wann es auf dem Wasser schwimmt (W1.1). Anschließend sollen die Schüler*innen Vermutungen anstellen, welche Materialien auf Leitungswasser ($\rho_{LW} = 1 \frac{g}{cm^3}$)²¹ bzw. Salzwasser ($\rho_{SW} = 1,18 \frac{g}{cm^3}$)²² schwimmen (A1.1) und diese im Folgenden anhand eines Experiments selbstständig überprüfen (V1.1). Für den Versuch werden kleine Stücke der einzelnen Materialein in ein mit der entsprechenden Flüssigkeit gefülltes Becherglas gegeben und mit einem Glasstab knapp unter die Oberfläche gedrückt, um die Oberflächenspannung zu überwinden. Im Rahmen des Schwimmversuchs werden bis auf PU alle in der Einstiegsphase erwähnten Kunststoffe sowie zusätzlich Glas, Aluminium und Holz untersucht. PU wird beim Schwimmversuch als einziger Kunststoff nicht untersucht, da dieser den Schüler*innen im Alltag ausschließlich in aufgeschäumter Form begegnet. Würde man die Dichte von PU-Schaum mittels eines Schwimmversuchs ermitteln, würde der hohe Luftgehalt die Dichte jedoch stark verfälschen. Die Schüler*innen erhalten den Versuch zudem in zweifacher Ausführung, damit alle Schüler*innen die Möglichkeit haben, aktiv am Versuch mitzuarbeiten.

Nachdem die Schüler*innen zunächst grob eingeordnet haben, in welcher Größenordnung sich die Dichten der einzelnen Materialien befinden, sollen sie im Anschluss einige der Dichten mithilfe eines Überlaufversuchs (V1.2) exakt bestimmen. Hierfür wurden ausschließlich Materialien ausgewählt, deren Dichte größer als die von Leitungswasser ist. Dies ist dadurch begründet, dass die Objekte zunächst in Wasser untergehen müssen, bevor ihre Dichte anhand der Volumenverdrängung bestimmt werden kann (s. Abschnitt 4.2). Aus diesem Grund werden ausschließlich die exakten Dichten von PMMA, PLA, Aluminium und Glas bestimmt.

Bevor die Schüler*innen mit dem Versuch starten, müssen sie in einer kurzen Aufgabe nochmals ihr Vorwissen aktivieren. In dieser sollen die Schüler*innen die Formel zur Berechnung der Dichte notieren (s. Formel 1 in Abschnitt 3.2) sowie die einzelnen

²¹ Carl Roth GmbH & Co. KG, 2022

²² Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 2022

Größen, welche zur Bestimmung der Dichte benötigt werden, aus dieser herausarbeiten (W.1.2). Anschließend erhalten die Schüler*innen den Auftrag, die entsprechenden Größen, welche zur Dichtebestimmung benötigt werden, in einem Experiment zu ermitteln. Hierfür wird mittels einer Waage zunächst das Gewicht der Objekte aus PMMA, PLA, Aluminium und Glas bestimmt sowie anschließend dessen Volumen mithilfe des Überlaufversuchs ermittelt.

Für die Ermittlung des Volumens stehen den Schüler*innen folgende Materialien zur Verfügung:

- Kleines Becherglas (Becherglas 1)
- Großes Becherglas mit Überlaufkapillare (Becherglas 2)
- Großes Becherglas (Becherglas 3)
- Waage

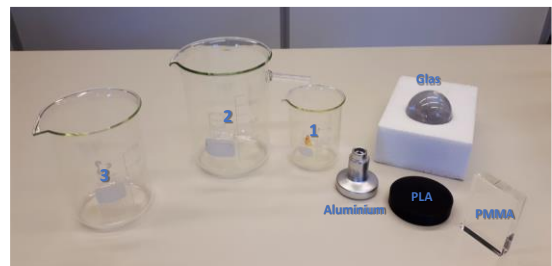


Abb. 7: Versuchsaufbau Überlaufversuch [1].

Wie die einzelnen Materialien von den Schüler*innen genutzt werden müssen, um die Volumina der Objekte zu bestimmen, ist in einer schrittweisen Anleitung erklärt. Im ersten Schritt sollen die Schüler*innen das kleine Becherglas wiegen und dieses anschließend unter die Überlaufkapillare von Becherglas 2 stellen. Anschließend wird das Becherglas mit Überlaufkapillare mithilfe von Becherglas 3 so lange mit Leitungswasser aufgefüllt, bis etwas Wasser aus der Überlaufkapillare tropft. Sobald kein Wasser mehr aus der Überlaufkapillare tropft, wird das kleine Becherglas geleert und zurück unter die Überlaufkapillare gestellt. Nun wird eines der Objekte in das Becherglas mit Überlaufkapillare gegeben, wodurch erneut Wasser über die Überlaufkapillare in das kleine Becherglas tropft. Nachdem kein Wasser mehr aus der Überlaufkapillare tropft, wird Becherglas 1, in welchem sich nun das verdrängte Wasser befindet, erneut gewogen und das Ergebnis notiert. Mithilfe des zuvor gewogenen leeren Becherglases kann nun die Masse des verdrängten Wassers und über die den Schüler*innen bekannte Dichte von Leitungswasser ($\rho_{LW} = 1 \frac{g}{cm^3}$)²³ das Volumen des verdrängten Wassers ermittelt werden. Dieses Volumen entspricht gerade dem Volumen des Objekts, welches in das Becherglas mit Überlaufkapillare gegeben wurde. Da hierdurch sowohl die Masse als auch das Volumen des Objekts bestimmt wurden, ist es den Schüler*innen nun möglich, über die in Aufgabe W1.2

²³ Carl Roth GmbH & Co. KG, 2022

notierte Formel die Dichte des Objekts zu berechnen. Die korrekten Dichten sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Korrekte Dichten der zu untersuchenden Materialien.

Um erneut allen Schüler*innen eine aktive Mitarbeit am Versuch zu ermöglichen, ist dieser in zweifacher Ausführung vorhanden. Da der Versuch jedoch verhältnismäßig viel Zeit in Anspruch nimmt, sollen die Schüler*innen die zu untersuchenden Objekte untereinander aufteilen und die ermittelten Dichten im Anschluss austauschen.

Material	Dichte in g/cm ³
PMMA	1,18 ²⁴
PLA	1,24 ²⁵
(übliches) Glas	2,5 ²⁶
Aluminium	2,7 ²⁷

Nach Beendigung des Experiments sollen die Schüler*innen die ermittelten Dichten mit den Ergebnissen aus dem Schwimmversuch (V1.1) und den Literaturwerten vergleichen (A1.2). Die Literaturwerte finden die Schüler*innen auf einer Lösungskarte, welche sich an der Station befindet (s. Anhang B). Da es beim Überlaufversuch schnell zu Messfehlern kommen kann, ist es wahrscheinlich, dass einige der bestimmten Dichten leicht von den Literaturwerten abweichen. Aus diesem Grund sollen die Schüler*innen in Aufgabe A1.2 zusätzlich Überlegungen dazu anstellen, wie mögliche Abweichungen entstanden sein können.

Im letzten Abschnitt von Station 1 sollen die Schüler*innen einen Text lesen (L1.1) und Fragen zu diesem beantworten (A1.3 & A1.4). Der Text beschäftigt sich mit dem Vergleich der Nachhaltigkeit von Glas- und PET-Flaschen und bezieht dabei insbesondere den Aspekt der Umweltverschmutzung und des CO₂-Verbrauchs beim Transport von Wasserflaschen mit ein. Anhand der im Text gegebenen Daten sollen die Schüler*innen rechnerisch abschätzen, wie viel höher der Treibstoffverbrauch beim Transport von Glasflaschen als beim Transport von PET-Flaschen ausfällt (A1.5). Zur Bearbeitung der Aufgabe stehen den Schüler*innen eine 0,5-Liter-PET- und eine 0,5-Liter-Glasflasche zur Verfügung. Zudem müssen die Schüler*innen die zuvor bestimmte Dichte von Glas wiederverwenden und bekommen gleichzeitig die Dichte von PET ($\rho_{PET} = 1,38 \frac{g}{cm^3}$) (Saechting et al., 1967) gegeben.

²⁴ Schüle, 2012

²⁵ Ultimaker, 2017

²⁶ <https://www.rct-online.de/magazin/glasarten-zusammensetzung-anwendung/> [08.11.2022]

²⁷ GESTIS. <https://gestis.dguv.de/data?name=007130> [29.10.2022]

5.4.2. Didaktische Überlegungen zu Station 1

Station 1 beschäftigt sich mit dem Thema Dichte. Dieses sollten die Schüler*innen nach dem Hessischen Kultusministerium (2021) bereits in der 7. Jahrgangsstufe im Rahmen des Mechanikunterrichts behandelt haben.

Die Aufgaben von Station 1 setzen sich zusammen aus Wiederholungsaufgaben, einer Schätzaufgabe, Experimenten, einer Leseaufgabe mit Fragen und einer Rechenaufgabe. Die Wiederholungsaufgaben dienen dazu, das Schulwissen der Schüler*innen zu reaktivieren und sicherzustellen, dass alle Schüler*innen das nötige Vorwissen zur Bearbeitung der Station besitzen. In der Schätzaufgabe sollen die Schüler*innen anhand ihrer Vorerfahrungen Vermutungen über den Ausgang des ersten Experiments aufstellen. Diese werden explizit abgefragt, um den anschließenden Erwartungsbruch hervorzuheben und dadurch das Interesse und die Motivation der Schüler*innen zu stärken. So werden die meisten Schüler*innen beispielsweise nicht erwarten, dass PET sowohl in Leitungswasser als auch in der Salzlösung untergeht. Experiment V1.1 (Schwimmversuch) erfüllt somit in erster Linie die Funktionen 6 („Vorstellungen Prüfen“) und 12 („Motivation und Interesse wecken“) (vgl. Abb. 1). Zusätzlich wird durch die Schätzaufgabe der Kompetenzbereich der Kommunikation gefördert, da die Schüler*innen sich im Rahmen der Aufgabe über ihre Vermutungen austauschen und diese ihren Mitschüler*innen gegenüber begründet darlegen müssen.

Durch V1.2 (Überlaufversuch) wird in erster Linie das naturwissenschaftliche Arbeiten gefördert (vgl. Funktion 11, Abb. 1). Da beim Überlaufversuch sehr achtsam gearbeitet werden muss, um kein Wasser zu verlieren, lernen die Schüler*innen insbesondere ruhig und exakt zu experimentieren. Bei der anschließenden Fehleranalyse (A1.2) erhalten die Schüler*innen außerdem die Möglichkeit, ihre Ergebnisse zu hinterfragen, wodurch das kritische Denken weiterentwickelt wird. Da die Schüler*innen das Experiment nach einer schrittweise vorgegebenen Anleitung durchführen müssen, wird zudem die Sachkompetenz gefördert²⁸. Die Formulierung der Beobachtungen sowie die Reflexion der Ergebnisse fallen schließlich in den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung²⁹, wodurch auch dieser ausgebaut wird.

In der Leseaufgabe wird schließlich die Sprachkompetenz der Schüler*innen gefördert. Da der Text sowie die anschließenden Aufgaben den Vergleich der Nachhaltigkeit von

²⁸ Kultusministerkonferenz, 2020

²⁹ Hessisches Kultusministerium, 2016a

PET- und Glas-Flaschen thematisieren, wird zudem der Kompetenzbereich der Bewertung ausgebaut. Durch die abschließende Rechenaufgabe wird schließlich die Rechen- und Problemlösekompetenz der Schüler*innen geschult. Letztere wird insbesondere deshalb geschult, da die Aufgabe sehr offen gestaltet ist und somit verschiedene Lösungswege und Einbezüge in die Lösung zulässt.

Letztlich sollte noch angemerkt werden, dass für die Dichte die Einheit $\frac{g}{cm^3}$ und nicht wie in der Schule üblich die Einheit $\frac{kg}{m^3}$ gewählt wurde. Grund hierfür ist, dass die Schüler*innen im Rahmen der Station alle Massen in Gramm messen, wodurch die gewählte Einheit einen geringeren Aufwand in Bezug auf die Umrechnung der Einheiten zur Folge hat. Infolgedessen haben die Schüler*innen mehr Kapazitäten zur Verfügung, um sich mit den relevanten Aspekten der Station befassen zu können.

5.5. Station 2: Plastik in der Optik

In der zweiten Station des Schülerlabors befassen sich die Schüler*innen mit den optischen Eigenschaften ausgewählter Materialien. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf dem Vergleich von PMMA (Plexiglas) und Glas, da diese vergleichbare optische Eigenschaften aufweisen. Zudem wird der Aufbau einer Smartphone-Kamera betrachtet und herausgearbeitet, warum für diesen Kunststofflinsen benötigt werden. Das Ziel der Station besteht darin, den Schüler*innen den Nutzen sowie die Notwendigkeit von Kunststoffen in optischen Geräten näherzubringen. Hierbei sollen die Schüler*innen insbesondere mitnehmen, was ein Kunststoff in Bezug auf seine optischen Eigenschaften erfüllen muss, um als Ersatz für Glas geeignet zu sein, sowie, dass nicht jeder Kunststoff als Ersatz für Glas verwendet werden kann.

5.5.1. Aufbau von Station 2

Die Station startet mit einem kurzen Experiment, für welches die Schüler*innen drei Brillengläser aus Kunststoff und zwei Brillengläser aus Glas erhalten (V2.1). Anhand ihrer Vorerfahrungen aus dem Alltag und dem in Station 1 aufgebauten Wissen zur Dichte (falls die Station zuvor bearbeitet wurde) sollen die Schüler*innen in gemeinsamer Diskussion Vermutungen dazu aufstellen, welche der Brillengläser aus Glas und welche aus Kunststoff bestehen. Im Forscherheft soll die getroffene Entscheidung anschließend

dargelegt und kurz begründet sowie anhand des beiliegenden Lösungskärtchens überprüft werden.

Im zweiten Abschnitt der Station beschäftigen sich die Schüler*innen mit den Transmissions- und Reflexionseigenschaften verschiedener Materialien. Hierfür müssen sie zunächst zwei Sätze zur Definition der Reflexion und Transmission vervollständigen (W2.1) (s. Abb. 8).

	Vervollständige anhand deines Vorwissens die folgenden Definitionen:
Als Reflexion bezeichnet man das _____ von Strahlen oder Wellen an einer Grenzfläche.	
Als Transmission bezeichnet den _____ von Strahlen oder Wellen durch ein Medium.	

Abb. 8: Aufgabe W2.1 aus Version 1 des Forscherhefts (Anhang A) [1].

Da für das anschließende Experiment polarisiertes Licht benötigt wird, schließt an die einführende Aufgabe ein kurzer Text zum Thema Polarisation an (L2.1). Dieser soll den Schüler*innen in wenigen Sätzen ein grobes Basiswissen zur Polarisation vermitteln (s. Abb. 9).

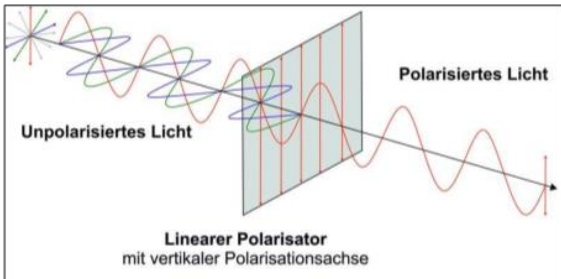
<i>Basiswissen Polarisation</i> Einige physikalische Phänomene in Bezug auf Licht lassen sich nur erklären, wenn man die Modellvorstellung von Licht als Welle nutzt. Betrachtet man in diesem Modell ein Lichtbündel, so besteht dieses aus vielen Wellen unterschiedlicher Ausrichtungen. Mit einem Polarisationsfilter ist es möglich, alle Ausrichtungen bis auf eine abzuschirmen, sodass man anschließend Licht erhält, welches aus Wellen einer einzigen Ausrichtung besteht. Dieses Licht nennt man polarisiertes Licht.	
--	--

Abb. 9: Aufgabe L2.1 aus Version 1 des Forscherhefts (Anhang A). Textquelle: [12]. Abbildungsquelle [13].

Nachdem die Schüler*innen den Text gelesen haben, beginnen sie mit dem zweiten Experiment der Station (V2.2). In diesem werden Reflexion und Transmission von polarisiertem Licht in Abhängigkeit des Winkels an üblichem Glas, einem Spiegel, PMMA, einer CD-Hülle (PS) und PLA beobachtet. Hierfür wird der in Abb. 10 gezeigte Aufbau verwendet.

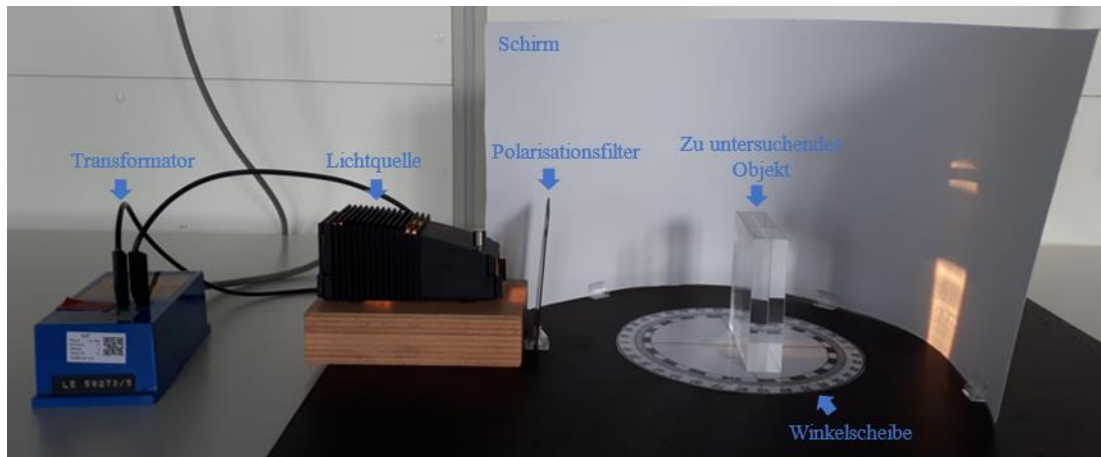


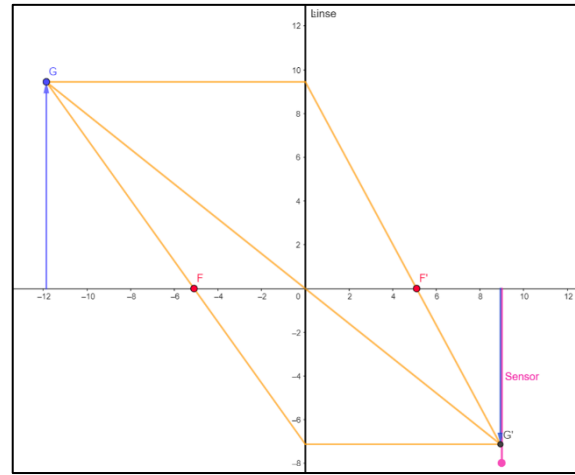
Abb. 10: Versuchsaufbau von V2.2 [1].

Während die Schüler*innen die zu untersuchenden Objekte auf der im Aufbau sichtbaren Winkelscheibe um bis zu 90° drehen, sollen sie eventuell auftretende Transmission und Reflexion auf dem Schirm beobachten. Hierbei sollten die Schüler*innen erkennen, dass bei PLA und dem Spiegel im Gegensatz zu den anderen Materialien kein Licht transmittiert wird. Zudem weist der Spiegel in Bezug auf die Reflexion keine Winkelabhängigkeit auf, während bei PLA unabhängig vom Winkel kein eindeutig reflektierter Lichtstreifen erkennbar ist. Bei PMMA und üblichem Glas kann hingegen eine Änderung der Lichtintensität des reflektierten Lichts in Abhängigkeit des Reflexionswinkels beobachtet werden. Auch die Reflexion des Lichts an PS ist abhängig vom Reflexionswinkel. Diese Abhängigkeit äußert sich darin, dass es bei PS unter bestimmten Winkeln zu einer Dispersion kommt, was bei keinem der anderen Materialien beobachtet werden kann. Das Ziel des Experiments besteht darin, den Schüler*innen die Ähnlichkeit der Reflexions- und Transmissionseigenschaften von PMMA und üblichem Glas aufzuzeigen. Durch Bearbeitung der Fragestellungen von A2.2 bis A2.5 sollen die Schüler*innen schrittweise zu dieser Erkenntnis geführt werden.

Die anhand von Versuch V2.2 herausgearbeitete Ähnlichkeit der optischen Eigenschaften von PMMA und üblichem Glas soll mithilfe des anschließenden Versuchs vertieft untersucht werden. Hierfür erhalten die Schüler*innen die Aufgabe, die Brechungsindizes von PMMA und üblichem Glas zu messen (V2.3) und miteinander zu vergleichen (A2.6). Um die Aufgabe eigenständig durchführen zu können, erhalten die Schüler*innen zunächst eine kurze Einführung in das Brechungsgesetz. Anschließend sollen sie die zur Berechnung des Brechungsindex benötigten Winkel mithilfe eines Laserstrahls, eines Glas- und PMMA-Quaders und eines Geodreiecks bestimmen. Über die bestimmten Winkel können dann die Brechungsindizes von PMMA und üblichem Glas berechnet werden. Hierbei

sollten die Schüler*innen feststellen können, dass sich PMMA und übliches Glas auch in Bezug auf ihre Brechungsindizes kaum voneinander unterscheiden.

Der letzte Abschnitt der Station beschäftigt sich mit dem Einsatz von Kunststofflinsen in Smartphone-Kameras. Im Rahmen der Station sollen die Schüler*innen mithilfe einer GeoGebra-Datei (s. Abb. 11) zunächst die Problematik von Smartphone-Kameras, welche sich aufgrund des schmalen Gehäuses ergibt, erarbeiten (V2.4). In der GeoGebra-Datei



wird der Strahlengang einer einfachen *Abb. 11: GeoGebra Datei „Strahlengang-Sammellinse“ [1].*

Sammellinse gezeigt, welcher durch Verschiebung des Gegenstandspunktes G variiert werden kann. Hierbei stellt die y-Achse die Hauptebene der Linse dar. Kurz hinter der Linse ist zudem der Smartphone-Sensor eingezeichnet, dessen Lage und Größe fest vorgegeben ist. Der Abstand von Linse und Sensor wurde dabei so gewählt, dass er dem tatsächlichen Abstand im Inneren eines Smartphones in Millimetern entspricht.

Zur Herausarbeitung der Problematik, welcher ein Smartphone-Objektiv ausgesetzt ist, sollen die Schüler*innen zunächst die Größe des betrachteten Gegenstands (A2.7) und anschließend die Entfernung des Gegenstands zur Linse (A2.8) variieren. Den Schüler*innen sollte dabei auffallen, dass der Gegenstand schnell zu groß wird, um vom Sensor vollständig erfasst zu werden, und dass das Bild nur in einer bestimmten Entfernung exakt auf dem Sensor auftrifft und somit schnell unscharf wird. Um auch mit einem Smartphone gute Fotos machen zu können, sind somit Linsenkonstruktionen vonnöten, welche eine unabhängig von der Gegenstandsweite weitgehend konstante Bildweite ermöglichen. Zudem muss die Linsenkonstruktion gewährleisten, dass auch Licht unter großen Einfallswinkeln vom Sensor erfasst werden kann. Dies sollen die Schüler*innen im Rahmen der Aufgaben A2.9 bis A2.11 herausarbeiten.

An die GeoGebra-Aufgabe schließt sich ein kurzer Infotext zum Unterschied von sphärischen und asphärischen Linsen an. Dieser soll den Schüler*innen vermitteln, dass für die in Aufgabe A2.11 herausgearbeiteten Anforderungen an eine Smartphone-Kamera asphärische Linsen benötigt werden, welche sich nur schwer aus Glas herstellen lassen. Für Smartphone-Kameras werden deshalb Linsen aus Kunststoff benötigt. Dieser kann im

Gegensatz zu Glas leicht geschmolzen und anschließend in die benötigte Form gegossen werden.

In Form einer Rätselaufgabe (V2.5) sollen sich die Schüler*innen abschließend mit dem Aufbau eines Smartphone-Objektivs beschäftigen. Hierfür muss die Algodoo-Datei „*Smartphone-Kamera bauen*“ geöffnet werden. In dieser finden die Schüler*innen die verschiedenen asphärischen Linsen, welche Teil einer Smartphone-Kamera sind (s. Abb. 12). Im Rahmen der Aufgabe sollen die Schüler*innen die verschiedenen asphärischen Linsen so zwischen den in der Algodoo-Datei sichtbaren Lasern und dem Sensor platzieren, dass alle Laserstrahlen auf dem Sensor aufkommen. Um ihre Lösung mit dem tatsächlichen Aufbau zu vergleichen oder falls die Schüler*innen die Aufgabe nicht gelöst bekommen, können sie die Datei *Smartphone-Kamera-Lösung* öffnen. In dieser finden sie den korrekten Aufbau. Durch das Verschieben und Drehen der Laser sollen die Schüler*innen in der Datei *Smartphone-Kamera-Lösung* abschließend ausprobieren, inwiefern sich die Auftrefforte der Laserstrahlen auf dem Sensor in Abhängigkeit von Position und Ausrichtung der Laser verändern (V2.6).

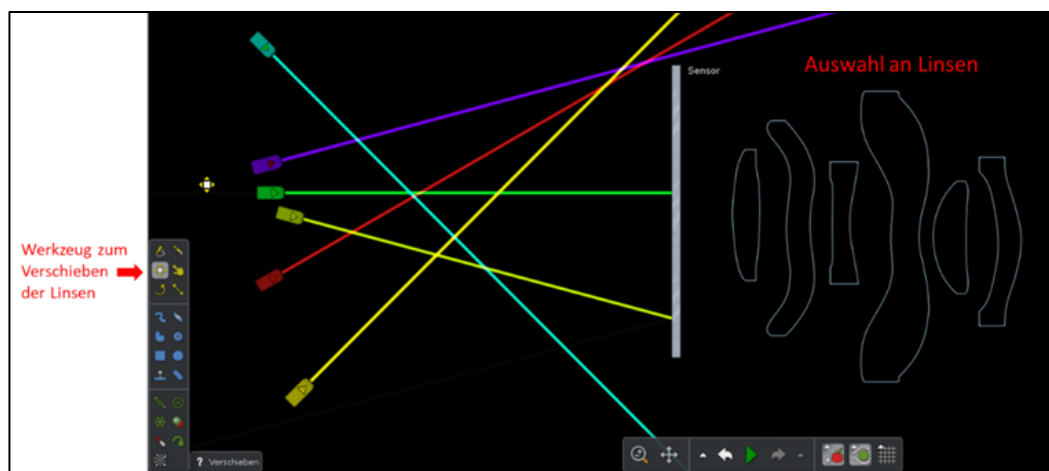


Abb. 12: Algodoo-Datei *Smartphone-Kamera bauen* [1].

5.5.2. Didaktische Überlegungen zu Station 2

Station 2 thematisiert die Reflexion und Brechung von Licht, welche nach dem Hessischen Kultusministerium (2021) in der siebten Jahrgangsstufe behandelt werden sollen, sowie Abbildungen durch Linsen, welche Teil der achten Jahrgangsstufe sind. Da für einen der Versuche polarisiertes Licht vonnöten ist, wird zudem das Thema Polarisation angesprochen, welches in der Regel nicht Teil der Schulphysik ist.

Die Station startet mit dem Sortieren der Brillengläser nach Glas und Kunststoff (V2.1). Hierfür müssen die Schüler*innen miteinander kommunizieren und daraufhin gemeinsam zu einer begründeten Entscheidung kommen. Aus diesem Grund wird im Rahmen des Versuchs sowohl die Argumentationsfähigkeit als auch die Kommunikationsfähigkeit der Schüler*innen gefördert. Beide sind Bestandteil des Kompetenzbereichs Kommunikation (s. Abschnitt 2.1).

Ziel der Wiederholungsaufgabe ist es, die Begriffe Reflexion und Transmission zu klären, welche für das anschließende Experiment benötigt werden. Da der Begriff der Transmission nur selten in der Schule behandelt wird, sollte die betreuende Person die Schüler*innen an dieser Stelle durch zielgerichtete Fragen unterstützen, um den in der Definition fehlenden Begriff gemeinsam zu erarbeiten.

Im anschließenden Experiment wird das wissenschaftliche Arbeiten der Schüler*innen geschult (vgl. Funktion 11, Abb. 1). Hierbei wird ausschließlich auf Grundlage von Beobachtungen gearbeitet und keine Erklärung für die gemachten Beobachtungen gegeben oder entwickelt. Dies liegt darin begründet, dass die Erklärungen für die auftretenden Effekte sehr komplex sind, sodass sie sich nicht mit dem Wissen aus der Schulphysik erklären lassen. Das Ziel des Experiments besteht somit ausschließlich darin, aufzuzeigen, dass PMMA in Bezug auf die optischen Eigenschaften sehr ähnlich zu Glas ist, weshalb es auch als Plexiglas bezeichnet wird. Zudem soll das Experiment erkenntlich machen, dass nicht jeder Kunststoff als Ersatz für Glas geeignet ist. Versuch V2.2 erfüllt somit in erster Linie Funktion 7 des Experimentierens („Physik in Technik und Alltagsanwendungen“) (vgl. Abb. 1), da es relevante physikalische Eigenschaften von PMMA für den Einsatz als Glasersatz aufzeigt. Zudem können die Schüler*innen in Versuch V2.2 das Phänomen der Dispersion sowie die Winkelabhängigkeit der Reflexion beobachten, wodurch zusätzlich Funktion 1 („Ein Phänomen zeigen“) abgedeckt wird (vgl. Abb. 1).

Der Abschnitt zu Kunststofflinsen in Smartphone-Kameras zeigt schließlich die Relevanz des behandelten Themas auf und soll durch die Nähe des Themas zum Alltag der Schüler*innen deren Interesse und Motivation wecken. Im Fokus steht hierbei ebenfalls Funktion 7 des Experimentierens (vgl. Abb. 1). Die GeoGebra-Datei *Strahlengang-Sammel-linse* ermöglicht den Schüler*innen, die Problematik einer Smartphone-Kamera mithilfe des flexibel veränderlichen Strahlengangs selbstständig zu entdecken. Dies fördert das naturwissenschaftliche Arbeiten der Schüler*innen (vgl. Funktion 11, Abb. 1) und veranschaulicht gleichzeitig das physikalische Konzept des Strahlengangs (vgl. Funktion 2,

Abb. 1). Bei der Erarbeitung des Aufbaus eines Smartphone-Objektivs wird ebenfalls mit einer Simulation gearbeitet. Diese ermöglicht den Schüler*innen in das Smartphone-Objektiv hineinzuschauen und es selbstständig aufzubauen, was anderweitig nicht umsetzbar wäre. Die Aufgabe ist sehr spielerisch gestaltet und soll dadurch die Motivation der Schüler*innen fördern (vgl. Funktion 12, Abb. 1), während ihnen gleichzeitig der Nutzen von Physik im Alltag aufgezeigt wird (vgl. Funktion 7, Abb. 1).

In der abschließenden Aufgabe der Station betrachten die Schüler*innen den korrekten Aufbau eines Smartphone-Objektivs und sollen durch Bewegung der Laserstrahlen selbstständige Beobachtungen anstellen. Hierbei wird erneut das wissenschaftliche Arbeiten der Schüler*innen gefördert, da sich die Schüler*innen gezielt für mögliche relevante Aspekte zur Beobachtung entscheiden und ihre Beobachtungen anschließend in Worte fassen müssen.

5.6. Station 3: Leitfähigkeit von Plastik

Station 3 beschäftigt sich mit der elektrischen Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit ausgewählter Materialien sowie mit elektrostatischen Phänomenen. Im Rahmen der Station sollen die Schüler*innen wiederholen, dass Kunststoffe elektrischen Strom zwar nicht leiten, sich aber trotzdem elektrostatisch aufladen können. Hierfür soll erarbeitet werden, wie es zu solch einer Aufladung kommt und was für Probleme mit dieser einhergehen können. Zudem befassen sich die Schüler*innen in Station 3 mit der Wärmeleitfähigkeit von Materialien, wobei ein Bezug zwischen elektrischer Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit hergestellt werden soll.

5.6.1. Aufbau von Station 3

Die Station beginnt mit einem kurzen Versuch, in welchem die elektrische Leitfähigkeit von Edelstahl, Aluminium, Wolle, PS, PET, PLA und Glas untersucht werden soll (V3.1). Hierfür stehen den Schüler*innen eine 4,5 V Batterie, drei Krokodilklemmen, ein Lämpchen mit Fassung sowie die zu untersuchenden Materialien zur Verfügung. Der Versuch ist in zweifacher Ausführung vorhanden, sodass alle Schüler*innen die Möglichkeit haben, aktiv am Versuch mitzuarbeiten. Im Anschluss an den Versuch sollen die Schüler*innen erklären, warum Edelstahl und Aluminium im Gegensatz zu den anderen Materialien elektrisch leitfähig sind (W3.1). Hierbei sollte in erster Linie auf den Unterschied

zwischen am Atom gebundenen und im Material frei beweglichen Elektronen eingegangen werden. Dies soll von den Schüler*innen in der anschließenden Aufgabe zusätzlich zeichnerisch mithilfe eines Modells dargestellt werden (W3.2). Anhand der Ergebnisse aus dem Versuch sollen die Schüler*innen in Aufgabe A3.1 darüber hinaus Schlussfolgerungen über den Einsatz von Kunststoffen beim Bau technischer Geräte ziehen.

Aufbauend auf der Tatsache, dass Kunststoffe als Isolatoren für technische Geräte verwendet werden, befassen sich die Schüler*innen im nächsten Abschnitt der Station mit den elektrostatischen Eigenschaften von Kunststoffen sowie den damit einhergehenden Problemen. Zur Heranführung an die Problematik sollen die Schüler*innen zunächst mit einem Wolltuch an einem PS-Lineal reiben und dieses anschließend über einen Berg Papierschnipsel halten (V3.2). Dadurch werden die Papierschnipsel von dem Lineal angezogen, was die Schüler*innen anschließend modellhaft erklären sollen (A3.2). Wichtig bei der Erklärung ist, dass die Schüler*innen die elektrostatische Aufladung des Lineals erwähnen, welche durch Reibung des Wolltuchs am Lineal entstanden ist. Zudem sollte in der Erklärung angeführt werden, dass sich die Papierschnipsel durch die Anziehung die überflüssige Ladung auf dem Lineal mit diesem teilen. Um verschiedene Materialien auf ihre elektrostatischen Eigenschaften hin zu überprüfen, soll das Experiment mit den Papierschnipseln im Folgenden mit anderen Materialien wiederholt werden (V3.3). Zudem sollen die Schüler*innen anhand der Versuchsergebnisse Überlegungen dazu anstellen, welche Probleme sich aus den elektrostatischen Eigenschaften von Kunststoffen bei der Verwendung als Isolatoren ergeben können (A3.3).

Im anschließenden Versuch (V3.4) befassen sich die Schüler*innen mit den Unterschieden elektrostatischer Aufladung. Hierfür wird ein PS-Winkelmesser mit einem Wolltuch elektrostatisch aufgeladen und an einer Schnur freischwebend aufgehängt. Mit demselben Wolltuch wird dann an einem PS-Lineal, einer PET-Schale, einem PMMA-Stab, einem PLA-Löffel, einem Edelstahl-Löffel, einem Aluminium-Lineal und einem Glasstab gerieben, welche nach dem Reiben der Reihe nach an den Rand des aufgehängten Winkelmessers gehalten werden (s. Abb. 13). Dabei kann beobachtet werden, dass einige der Materialien den PS-Winkelmesser nicht beeinflussen, während andere ihn anziehen oder abstoßen. Hieraus kann gefolgert werden, dass es bei elektrostatischer Aufladung zu

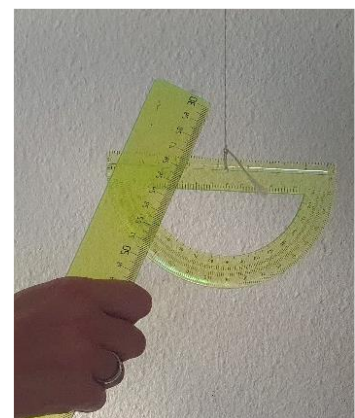


Abb. 13: Versuchsaufbau V3.4. [1].

unterschiedlichen Aufladungen kommen kann (A3.4). Um dies zu erklären, wird im Folgenden die triboelektrische Reihe eingeführt (s. Abschnitt 3.2. Abb. 5), welche die Schüler*innen zunächst mit ihren Versuchsergebnissen vergleichen sollen (A3.5). Hierbei sollte ihnen auffallen, dass alle Materialien, welche den PS-Winkelmesser abstoßen, in der triboelektrischen Reihe unterhalb von Wolle liegen, während alle Materialien, welche den PS-Winkelmesser anziehen, oberhalb von Wolle situiert sind. Mithilfe dieser Beobachtung sollen die Schüler*innen nun erklären, welche Bedeutung das + und – am Anfang und Ende der triboelektrischen Reihe haben (A3.6). Da es in dem Versuch um elektrostatische Ladung geht, sollten die Schüler*innen das + und – schnell mit positiver und negativer Ladung assoziieren und somit folgern können, dass die Materialien unten in der triboelektrischen Reihe eine höhere Elektronenaffinität aufweisen als die Materialien oben in der Reihe. Der Begriff der Elektronenaffinität kann hierbei von den Schüler*innen umschrieben werden und muss nicht zwangsläufig in der Antwort enthalten sein. Durch die Interpretation des + und – an den Rändern der triboelektrischen Reihe sollte es den Schüler*innen nun möglich sein, in den nachfolgenden Aufgaben zu erklären, was an der Reihe abgelesen werden kann (A3.7), und zu folgern, wofür diese Information beim Bau technischer Geräte vonnöten ist (A3.8). In einer abschließenden Aufgabe zur Elektrostatik sollen die Schüler*innen PLA anhand der Versuchsergebnisse von V3.4 in die triboelektrische Reihe einsortieren (A3.9) und somit unter Beweis stellen, dass sie das Prinzip der Reihe verstanden haben.

Im letzten Teil von Station 3 beschäftigen sich die Schüler*innen schließlich mit der Wärmeleitfähigkeit. Hierfür werden ein PS-Lineal, ein PET-Stab, ein Edelstahlöffel, ein Aluminium-Lineal und ein Glasstab in ein mit heißem Wasser gefülltes Becherglas gegeben. Durch Fühlen an den herausstehenden Enden der Materialien sollen die Schüler*innen Schlüsse in Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit der Materialien ziehen und diese notieren (V3.5 & A3.10). Anschließend wird der Versuchsaufbau mit der Wärmebildkamera FLIR-One beobachtet (V3.6) und die Ergebnisse der Wärmebildkamera mit den Ergebnissen der eigenen Wahrnehmung verglichen (A3.11 & A3.12). Um einen Rückbezug zur elektrischen Leitfähigkeit zu schaffen, sollen die Schüler*innen die Ergebnisse zur Wärmeleitfähigkeit abschließend mithilfe des Modells zur elektrischen Leitfähigkeit aus Aufgabe W3.2 erklären (A3.13).

Die Station endet mit einem kurzen Gedankenexperiment (V3.6). In diesem erhalten die Schüler*innen die Aufgabe, anhand ihrer Ergebnisse aus Versuch V3.5 zu entscheiden,

in welchem von vier Gefäßen aus Edelstahl, Glas, PET und PS heißes Wasser am schnellsten bzw. am langsamsten abkühlt.

5.6.2. Didaktische Überlegungen zu Station 3

Die Grundlagen für die Themen der dritten Station werden nach dem Hessischen Kultusministerium (2021) bereits in der siebten und achten Jahrgangsstufe gelegt. So sollten in Klasse sieben die elektrische Leitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit behandelt werden, während in Klasse acht die Elektrostatik eingeführt wird.

Da die Behandlung der Themen bei den meisten Schüler*innen schon mehrere Jahre zurückliegt, startet die Station mit einer einfachen Einführung in das Thema, deren Schwierigkeitsgrad schrittweise erhöht wird. Die erste Aufgabe zum Bau eines Stromkreises (V3.1) soll einen motivierenden (vgl. Funktion 12, Abb. 1) und leichten Einstieg für die Schüler*innen darstellen, während die darauffolgenden Fragestellungen sicherstellen sollen, dass die Schüler*innen eine hinreichende Vorstellung von elektrischer Leitfähigkeit besitzen (W3.1 & W3.2). Zusätzlich wird durch Aufgabe W3.2 die Modellkompetenz und damit einhergehend der Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung geschult (vgl. Abschnitt 2.1).

Die ersten Aufgaben zum Abschnitt der Elektrostatik stellen ebenfalls zunächst sicher, dass die Schüler*innen eine Vorstellung von elektrostatischen Prozessen besitzen und fördern durch die verlangte Erklärung von V3.2 (Papierschnipsel-Versuch) die Modellkompetenz. Zeitgleich wird durch den Versuch das naturwissenschaftliche Arbeiten gefördert (vgl. Funktion 11, Abb 1), da die Schüler*innen ein Experiment durchführen, ihre Beobachtungen formulieren und eine Erklärung für diese finden müssen. Zudem zeigt das Experiment ein elektrostatisches Phänomen auf, wodurch Funktion 1 des Experimentierens („Ein Phänomen zeigen“) abgedeckt wird (vgl. Abb 1). Die Möglichkeit, den Versuch mit anderen Materialien auszuprobieren, öffnet die Aufgabe zusätzlich und gibt den Schüler*innen somit mehr Freiheiten bei der Durchführung.

Im Versuch zur triboelektrischen Reihe (V3.4) werden die Schüler*innen dann aufbauend auf ihren Kenntnissen zur Elektrostatik an das Konzept der triboelektrischen Reihe herangeführt. Auch hier wird das naturwissenschaftliche Arbeiten gefördert (vgl. Funktion 11, Abb. 1), da die Schüler*innen zunächst ein Experiment durchführen, ihre Beobachtungen beschreiben und diese anschließend in Bezug auf die triboelektrische Reihe

interpretieren müssen. Die aufeinander aufbauenden Fragestellungen ermöglichen es den Schüler*innen dabei, Sinn und Zweck der triboelektrischen Reihe selbstständig zu erarbeiten, wobei sie bei Schwierigkeiten auf die Hilfe der Betreuer*innen zurückgreifen können. Neben Funktion 11 erfüllt Experiment V.3.4 auch Funktion 1 („Ein Phänomen zeigen“), da elektrostatische Phänomene betrachtet werden, Funktion 4 („Gesetzmäßigkeiten erfahren“), da die Schüler*innen im Versuch erkennen, dass es verschiedenen Ladungen gibt, welche sich entweder anziehen oder abstoßen, Funktion 7 („Physik in Technik und Alltagsanwendungen“), da der Nutzen der triboelektrischen Reihe für die Technik betrachtet wird und Funktion 13 („Nachhaltige Eindrücke vermitteln“), da die Abstoßung handelsüblicher Lineale voneinander zunächst sehr überraschend und beeindruckend erscheint.

Im Abschnitt zur Wärmeleitfähigkeit wird durch das Erfühlen der Temperaturunterschiede (V3.5) zunächst die Wahrnehmung der Schüler*innen geschult. Durch die anschließende Überprüfung mittels Wärmebildkamera (V3.6) lernen die Schüler*innen zudem ein Messwerkzeug kennen, mit welchem Temperaturunterschiede gemessen und visualisiert werden können. Hierdurch soll die Motivation und das Interesse der Schüler*innen gesteigert werden (vgl. Funktion 12, Abb. 1). Zusätzlich wird in Abschnitt drei der Station ein Bezug zur elektrischen Leitfähigkeit hergestellt (A3.13), wodurch eine Verknüpfung verschiedener fachlicher Konzepte und somit eine Förderung der Sachkompetenz stattfindet (vgl. Abschnitt 2.1). Zudem wird im Rahmen dieser Aufgabe die Modellkompetenz und somit die Erkenntnisgewinnung gefördert, da das Modell zur elektrischen Leitfähigkeit erneut aufgegriffen und in Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit interpretiert werden muss. Das Gedankenexperiment (V3.6), welches in der letzten Aufgabe der Station durchgeführt wird, dient schließlich zur Festigung des erworbenen Wissens. Zudem wird die Vorstellungskraft der Schüler*innen angeregt, die Modellbildungsfähigkeit gefördert (Euler & Schüttler, 2020) und die Transferfähigkeit weiterentwickelt.

Darüber hinaus befindet sich am Ende jedes Aufgabenteils eine Frage, in welcher die Bedeutung der behandelten Themen herausgearbeitet wird (A3.1, A3.3 & A3.8). Ziel dieser Fragen ist es, das erarbeitete Wissen zu festigen und die Motivation der Schüler*innen durch das Aufzeigen der Alltagsrelevanz zu stärken. Zusätzlich regen die Fragen den Kompetenzbereich der Bewertung an, da die Schüler*innen im Rahmen der Aufgaben Probleme und Nutzen der behandelten physikalischen Eigenschaften herausarbeiten sollen (vgl. Abschnitt 2.1).

5.7. Station 4: Plastik als Schallschutz

In Station 4 befassen sich die Schüler*innen schließlich mit akustischen Eigenschaften wie der Schwingungsanregung sowie der Leitung und Absorption von Schall. Hierfür erarbeiten die Schüler*innen zunächst ein Modell zur Ausbreitung von Schall. Anschließend sollen die Schüler*innen im Rahmen der Station erlernen, welche Eigenschaften ein gutes schalldämmendes sowie schallabsorbierendes Material besitzen muss.

5.7.1. Aufbau von Station 4

Die Station startet mit einem Modellexperiment (V4.1). Für dieses müssen zwei der Schüler*innen die Enden eines Slinkys in die Hand nehmen und sich in einigem Abstand einander gegenübersetzen (s. Abb. 14). Der Slinky sollte dabei auf einem glatten Untergrund liegen und leicht gespannt sein. Daher bietet es sich an, das Experiment auf dem Boden durchzuführen. Nach Absprache erzeugt einer der Schüler*innen durch leichtes Anstoßen in Vorwärtsrichtung eine Longitudinalwelle. Die entstehende Welle soll von den Schüler*innen zunächst beschrieben werden (A4.1), bevor anschließend ein Bezug zur Schallwellenausbreitung in Luft hergestellt wird (A4.2). Ziel der Aufgaben ist, dass die Schüler*innen eine Vorstellung der Ausbreitung von Schall entwickeln oder die ihnen bereits bekannte Vorstellung wieder auffrischen, sodass sie sie im weiteren Verlauf der Station nutzen können.



Abb. 14: Modellexperiment zur Schallausbreitung [1].

Die anschließenden Experimente sollen die Schüler*innen Schritt für Schritt zu der Erkenntnis führen, was ein Material in Bezug auf seine Eigenschaften erfüllen muss, um als guter Schallabsorber gelten zu können. In einem ersten Experiment erhalten sie hierfür fünf Schalen, welche mit Gummibändern bespannt sind (V4.2). Von diesen Schalen besteht jeweils eine Schale aus Pappe, PS, Styropor (aufgeschäumtes PS), Aluminium und PU-Schaum. Für den Versuch sollen die Gummibänder, welche um die Schalen gespannt sind, von den Schüler*innen nacheinander angeschlagen werden. Dabei sollen die Schüler*innen darauf achten, wie stark und lang die verschiedenen Schalen beim Anschlagen mitschwingen, und die Materialien anschließend nach ihrer Schallanregung ordnen (A4.3). Hierbei sollte eindeutig festgestellt werden können, dass der PU-Schaum im

Gegensatz zu den anderen Materialien nicht mitschwingt. Sollten die Schüler*innen bei der Durchführung des Experiments weitere Beobachtungen machen, haben sie die Möglichkeit, diese ebenfalls im Forscherheft festzuhalten (A4.4).

Die Materialien, welche die Schüler*innen im vorherigen Experiment nach ihrer Schallanregung sortiert haben, sollen im anschließenden Experiment auf ihre Schallleitfähigkeit untersucht und ebenfalls in eine Reihenfolge gebracht werden (V4.3 & A4.5). Hierfür erhalten die Schüler*innen große Platten aus den entsprechenden Materialien. Diese sollen die Schüler*innen, wie in Abb. 15 gezeigt, zunächst auf dem Boden platzieren. Anschließend halten die Schüler*innen abwechselnd ihr Ohr an das eine Ende der Platte, während ein*e weitere*r Schüler*in mit gleichbleibender Kraft auf das andere Ende der Platte klopft. Die Schüler*innen sollten dabei feststellen können, dass sie das Klopfen bei einigen Materialien sehr laut hören, während sie es bei anderen Materialien nicht oder nur kaum hören. Wie beim vorherigen Experiment sollte auch hier der PU-Schaum eindeutig herausstechen, da er den Schall als einziger nicht hörbar leitet. Nach Anordnung der Materialien erhalten die Schüler*innen zudem erneut die Möglichkeit, weitere Beobachtungen zu notieren (A4.6).



Abb.15: Experiment zur Schalleitung [1].

Im darauffolgenden Abschnitt der Station beschäftigen sich die Schüler*innen mit der Schalldämmung. Da der hierfür durchgeführte Versuch jedoch eine ruhige Umgebung voraussetzt, wird dieser im Nachbarraum des Schülerlabors durchgeführt. Für den Versuch müssen sich die Schüler*innen zunächst mit der App Phyphox vertraut machen, welche im Folgenden zur Lautstärkemessung verwendet wird. Hierfür sollen die Schüler*innen die App zunächst im Nachbarraum kalibrieren und anschließend eine Lautstärkemessung im Schülerlabor und auf dem Flur des Schülerlabors durchführen (V4.4). Nachdem sie dies getan haben, begeben sie sich zurück in den Nachbarraum und verbinden Phyphox mit dem Laptop. Dies bietet den Vorteil, dass die Messergebnisse groß auf dem Laptop angezeigt werden können, wodurch sie für alle Schüler*innen der Gruppe sichtbar sind. Für die Durchführung des eigentlichen Versuchs (V4.5) erzeugen die Schüler*innen mit dem Tongenerator von Phyphox auf einem weiteren Handy einen Ton und legen es in einem Abstand von 5 bis 10 cm neben das messende Handy. Die gemessene

Lautstärke wird von den Schüler*innen notiert und das tongenerierende Handy anschließend nacheinander in eine der fünf vorhandenen Kisten gelegt. Diese fünf Kisten sind mit den Materialien ausgekleidet, welche von den Schüler*innen bereits in den vorherigen Versuchen untersucht wurden. Indem die Schüler*innen das messende Handy so neben die Kiste legen, dass es wieder in etwa 5 bis 10 cm vom tongenerierenden Handy entfernt liegt, soll nun gemessen werden, wie stark sich die Lautstärke durch die entsprechenden Materialien reduziert. Dies gibt Aufschluss darüber, welche der Materialien gut zur Schalldämmung geeignet sind. Die Schüler*innen sollten dabei feststellen können, dass PU-Schaum am besten zur Schalldämmung geeignet ist (A4.7) und unter Einbezug der vorherigen Versuche erkennen, dass ein schalldämmendes Material weder von Schall angeregt werden noch diesen leiten sollte (A4.8).

Im abschließenden Versuch beschäftigen sich die Schüler*innen schließlich mit der Raumakustik (V4.6). Hierfür werden beide Handys (das Messende und das Tongenerierende) in eine Kiste gelegt und die entsprechende Lautstärke erneut abgelesen. Da das Display des Smartphones hierbei nicht zu sehen ist, müssen die Werte entweder vom Laptop abgelesen oder anhand des entstandenen Graphen im Anschluss ermittelt werden. Bei der Box, welche mit Aluminium ausgekleidet ist, muss das zweite Verfahren angewandt werden, da das Handy in dieser keine Verbindung zum Laptop aufnehmen kann. Bei Betrachtung der Versuchsergebnisse sollten die Schüler*innen feststellen können, dass die Lautstärke in der mit PU-Schaum ausgekleideten Kiste am geringsten ausfällt. Anhand der Fragen A4.9 und A4.10 soll im Anschluss die Ursache für die beobachteten Lautstärkeunterschiede herausgearbeitet werden, welche in der Schallreflexion der Materialien begründet liegt.

Die Schüler*innen konnten mithilfe der Versuche somit feststellen, dass PU-Schaum den erzeugten Schall kaum reflektiert, ihn auf der anderen Seite aber auch schlecht nach außen dringen lässt. Dies soll von den Schüler*innen in einer abschließenden Frage erklärt werden (A4.12). Hierfür benötigen sie das Modell zur Ausbreitung von Schall, welches sie zu Beginn der Station anhand des Slinkys erarbeitet haben.

5.7.2. Didaktische Überlegungen zu Station 4

Das Thema Akustik wird nach dem hessischen Lehrplan nur fakultativ in der 8. Jahrgangsstufe behandelt³⁰, sodass nicht davon ausgegangen werden kann, dass die Schüler*innen das Thema im Unterricht behandelt haben. Am ehesten kann noch angenommen werden, dass die Schüler*innen wissen, wie sich Schall in Luft ausbreitet, da die Ausbreitung von Schall und Licht nach dem Hessischen Kerncurriculum inhaltlicher Schwerpunkt der 9. bis 10. Jahrgangsstufe sein sollte³¹. Da das Thema Schall nach eigener Erfahrung in der Schule jedoch häufig zu kurz kommt, beginnt die Station mit einer Einführung bzw. Wiederholung der Ausbreitung von Schall, um sicher zu gehen, dass sich alle Schüler*innen auf demselben Wissenstand befinden. Durch das erste Experiment soll somit zunächst das physikalische Konzept des Schalls verdeutlicht werden (vgl. Funktion 2, Abb. 1). Zusätzlich schult die einführende Aufgabe der Station wie auch die letzte Aufgabe der Station die Fähigkeit der Schüler*innen mit Modellen zu arbeiten. Nachdem die Schüler*innen in der ersten Aufgabe anhand des Slinkys ein Modell zur Ausbreitung von Schall entwickelt haben, müssen sie dieses in der letzten Aufgabe nutzen, um die Schallabsorption in PU-Schaum zu erklären. Es wird somit sowohl die Entwicklung von Modellen als auch die Anwendung dieser geschult. Beides ist Bestandteil des Kompetenzbereichs Erkenntnisgewinnung³², wodurch auch diese zeitgleich gefördert wird. Da die letzte Aufgabe der Station neben dem erarbeiteten Wissen auch Wissen zur Energieumwandlung und Reibung benötigt, handelt es sich hierbei um eine anspruchsvolle Aufgabe, welche die Transferfähigkeit der Schüler*innen fordert und weiterentwickelt.

Überdies legt Station 4 einen großen Wert auf die Wahrnehmung der Schüler*innen, welche sowohl im Experiment *Schwingungsanregung* als auch im Experiment *Schallleitung* von Nöten ist. Auch die Förderung der Wahrnehmungsfähigkeit, sowie das anschließende Vergleichen der unterschiedlichen Schwingungsanregungen oder Lautstärken fallen in den Bereich der Erkenntnisgewinnung³², welche hierdurch gefördert wird. Neben der Erkenntnisgewinnung wird zudem der Kompetenzbereich der Kommunikation angesprochen, da die Schüler*innen sich austauschen und diskutieren müssen, um die Objekte gemeinsam in eine Reihenfolge zu bringen. Die Möglichkeit, weitere Beobachtungen zu formulieren, öffnet die Aufgabe zusätzlich, sodass die Schüler*innen selbstständig Überlegungen anstellen müssen, welche weiteren Beobachtungen für den Versuch relevant

³⁰ Hessisches Kultusministerium, 2021

³¹ Hessisches Kultusministerium, 2016a

³² Kultusministerkonferenz, 2020

sein könnten. Dies gibt den Schüler*innen mehr Freiheiten und fördert gleichzeitig das naturwissenschaftliche Arbeiten (vgl. Funktion 11, Abb. 1).

Auch die Versuche zur Schalldämmung und Raumakustik fördern das naturwissenschaftliche Arbeiten (vgl. Funktion 11, Abb. 1) sowie die Erkenntnisgewinnung, da in diesen zunächst Messwerte aufgenommen werden, welche im Anschluss von den Schüler*innen interpretiert werden müssen. Da die Boxen als Modelle für Räume gelten, wird zudem der Alltagsnutzen der Betrachtung schallabsorbierender Materialien betrachtet und somit Funktion 7 des Experimentierens (vgl. Abb. 1) mit dem Experiment angestrebt.

6. Durchführung des Schülerlabors

6.1. Erste Durchführung

Bei der ersten Lerngruppe, welche das Schülerlabor besuchte, handelte es sich um einen Mathematik-Leistungskurs aus der E-Phase der Carlo-Mierendorff-Schule in Preungesheim. Die Lerngruppe umfasste 25 Schüler*innen, sodass sich an einer der Stationen sieben Schüler*innen und an den anderen jeweils sechs Schüler*innen befanden.

6.1.1. Wahrnehmung der Betreuer*innen zu Lerngruppe 1

In der allgemeinen Betrachtung ließ sich zunächst feststellen, dass die Schüler*innen interessiert schienen und Spaß am Experimentieren hatten. Sie stellten viele weiterführende Fragen und arbeiteten sehr gewissenhaft an den Aufgaben. Alle Betreuer*innen mussten jedoch feststellen, dass die Schüler*innen das Vorwissen, welches zur Bearbeitung der Wiederholungsaufgaben benötigt wird, nicht besaßen. In Bezug auf die Dichte wusste beispielsweise keiner der Schüler*innen, was diese ausdrückt oder wie man diese berechnet (W1.2). Auch die Formelzeichen für die Masse und das Volumen waren den meisten Schüler*innen nicht geläufig. Zudem wusste nur einer der Schüler*innen, was Reflexion ist, während der Begriff der Transmission den Schüler*innen vollkommen unbekannt war (W2.1). Die Erklärung der Schallausbreitung mit dem Teilchenmodell fiel den Schüler*innen ebenfalls schwer (A4.2). Dies lag unter anderem daran, dass sich die Schüler*innen nicht mehr vollständig an das Teilchenmodell erinnern konnten. Zum Thema Elektrizitätslehre schienen die Schüler*innen zwar mehr Erfahrungen mitzubringen, hatten aber ebenfalls Schwierigkeiten dabei, das Modell eines Leiters und Nichtleiters zu zeichnen (W3.2).

Die Einstiegsphase wies eine sehr geringe Beteiligung auf. So konnte bei der Frage nach bereits bekannten physikalischen Eigenschaften ausschließlich die Dichte genannt werden, während bei der Frage nach bekannten Plastiksorten ausschließlich die Antwort *Mikroplastik* gegeben wurde. Dies lässt darauf schließen, dass die Schüler*innen auch zur generellen Thematik des Schülerlabors wenig Vorwissen besaßen.

In Bezug auf die Zeitplanung musste festgestellt werden, dass die Schüler*innen für die Bearbeitung der Aufgaben wesentlich länger brauchten als ursprünglich eingeplant. Infolgedessen konnten in der angesetzten Zeit nur drei der vier Stationen bearbeitet werden, wobei eine der Stationen ausschließlich im Schnelldurchlauf bearbeitet wurde. Der

Schnelldurchlauf war dabei so gestaltet, dass die Schüler*innen die Möglichkeit hatten, alle Experimente der Station durchzuführen, während die Aufgaben nur mündlich besprochen und nicht schriftlich festgehalten wurden.

Zu Station 1:

Mit Station 1 kamen die Schüler*innen mit Ausnahme der Wiederholungsaufgaben gut zurecht. Bei der Schätzaufgabe zum Schwimmversuch (A1.1) haben die Schüler*innen ihre Vermutungen stark auf Basis ihrer Alltagserfahrungen getroffen. So wussten sie beispielsweise, dass Holz auf Wasser schwimmt, während Glas dies nicht tut. Bei den meisten Plastiksorten vermuteten die Schüler*innen, dass diese auf der Oberfläche schwimmen. Bei PET machten die Schüler*innen dies an dem Wissen fest, dass eine PET-Flasche auf Wasser schwimmt. Bei PMMA vermuteten die meisten Schüler*innen hingegen, dass es in den Flüssigkeiten untergeht. Dies wurde damit begründet, dass das zu untersuchende Objekt im Gegensatz zu den anderen Objekten größer und damit einhergehend schwerer als die anderen betrachteten Gegenstände war. Als die Schüler*innen ihre Vermutungen überprüften, waren sie somit sehr überrascht, als PET sowohl im Leitungswasser als auch in der Salzlösung unterging, während der große PMMA-Quader auf der Oberfläche der Salzlösung schwamm.

Beim anschließenden Überlaufversuch (V1.2) arbeiteten die Schüler*innen sehr gründlich und erhielten dementsprechend genaue Ergebnisse. Da die Schüler*innen keine Erfahrungen mit dem Begriff der Dichte mitbrachten, brauchten sie beim Ausfüllen der Tabelle jedoch zusätzliche Erklärungen der Betreuerin, um verstehen zu können, wozu die einzelnen Spalten der Tabelle benötigt werden. Bei der Fehleranalyse (A1.2) kamen die Schüler*innen schnell darauf, dass ein Teil des Wassers verloren gegangen sein könnte und dass das Becherglas mit der Überlaufkapillare nicht richtig gefüllt gewesen sein könnte. Dass auch Hohlräume in den Objekten zu möglichen Fehlern führen können, musste jedoch von der Betreuerin ergänzt werden.

Der Text im letzten Teil der Station (L1.1) sowie die anschließenden Fragen dazu (A1.3 & A1.4) konnten von den Schüler*innen problemlos und ohne Unterstützung der Betreuerin bearbeitet werden. Die Rechenaufgabe (A1.5) bereitete den Schüler*innen hingegen große Probleme, obwohl es sich bei dem Kurs um einen Mathe-Leistungskurs handelte. Die Betreuerin musste hierbei viele Hilfestellungen geben und die Schüler*innen stark motivieren, die Aufgabe fertig zu bearbeiten. Dass die Schüler*innen zuvor nicht mit der

Dichte vertraut waren und Schwierigkeiten beim Verständnis dieser hatte, erschwerte die Bearbeitung der Rechenaufgabe zusätzlich.

Zu Station 2:

Station 2 begann mit dem Sortieren der Brillengläser nach Glas und Kunststoff (V2.1). Hierbei haben es alle Gruppen geschafft, die Brillengläser richtig zu sortieren, wobei die Entscheidung in der Regel am Klang der Brillengläser beim Aufkommen auf den Tisch festgemacht wurde. Eine der Gruppen nannte jedoch sowohl den Klang als auch die Masse der Materialien als Grund für ihre Sortierung. Überraschenderweise handelte es sich hierbei um die erste Gruppe, welche die Dichtestation zuvor noch nicht bearbeitet hatte.

Beim anschließenden Experiment zur Überprüfung der Reflexions- und Transmissions-eigenschaft (V2.2) zeigten sich starke Unterschiede zwischen den Gruppen. Während zwei Gruppen mehrfach Hilfestellungen benötigten, konnte die dritte Gruppe die Aufgabe ohne große Intervention der Betreuerin bearbeiten. Das größte Problem bei den ersten beiden Gruppen stellte dabei die Bewegung der Objekte auf der Winkelscheibe dar. Während die dritte Gruppe die Objekte sehr langsam drehte und konzentriert auf jede Veränderung des reflektierten Lichts achtete, drehten die anderen beiden Gruppen die Objekte so schnell, dass sie die Änderungen der Lichtintensität und die auftretende Dispersion nicht wahrnehmen konnten. Selbst nachdem die Schüler*innen dazu aufgefordert wurden, die Gegenstände nur ganz langsam zu bewegen, wurden die Objekte teilweise immer noch zu schnell gedreht, sodass die Betreuerin eingreifen und die Objekte selbst drehen musste. Den Begriff der Dispersion (A2.3) kannte keiner der Schüler*innen, sodass dieser von der betreuenden Person vorgegeben werden musste. Die restlichen Fragen konnten die Schüler*innen bis auf A2.4 jedoch ohne Hilfestellung bearbeiten. A2.4, welche abfragt, was ein Kunststoff in Bezug auf seine Reflexions- und Transmissionseigenschaften erfüllen muss, um als Ersatz für Glas verwendet werden zu können, schien die Schüler*innen hingegen zu verunsichern. Die Schüler*innen verstanden nicht, dass sie zur Beantwortung der Aufgabe eigentlich nur nochmals die optischen Eigenschaften von Glas aufführen müssen, welche sie zuvor experimentell ermittelt haben.

Bei der Bestimmung des Brechungsindex (V2.3) benötigten die Schüler*innen viele Hilfestellungen und meinten, dass sie den Begriff Brechungsindex noch nie gehört hätten. Zwar haben es alle Schüler*innen schlussendlich geschafft die Aufgabe zu bearbeiten,

dies geschah jedoch unter starker Anleitung der Betreuerin und ohne wirkliches Verständnis seitens der Schüler*innen. Zudem ergaben sich schnell große Abweichungen bei der Messung, sobald nicht exakt gearbeitet wurde. Des Weiteren haben die Schüler*innen viel mit den Lasern herumgespielt, anstatt die Aufgabe zu bearbeiten, sodass die Bearbeitung der Aufgabe viel Zeit in Anspruch genommen hat.

Die Aufgaben zum Aufbau einer Smartphone-Kamera wurden von den Schüler*innen schließlich wieder konzentriert bearbeitet und schienen großes Interesse zu wecken. Im Laufe der Aufgabe holten viele Schüler*innen ihr Smartphone aus der Tasche, um die Linsen der Kamera genauer zu betrachten und stellten viele tiefergehende Fragen zu der Thematik. Bei der Bearbeitung der GeoGebra-Datei *Strahlengang-Sammellinse* (V2.4) benötigten die Schüler*innen zunächst eine Einführung der Betreuerin, um verstehen zu können, was in der Datei zu sehen ist. Anschließend konnten sie die dazugehörigen Fragen (A2.7 bis A2.11) mit leichter Unterstützung der Betreuerin jedoch gut beantworten. Das Anordnen der Smartphone-Linsen in der Algodoo-Datei *Smartphone-Kamera-Bauen* (V2.5) bereitete den Schüler*innen keine Probleme und schien ihnen gleichzeitig großen Spaß zu bereiten. Zudem freuten sich die Schüler*innen sehr, wenn sie es schafften, die Linsen so anzuordnen, dass alle Strahlen auf dem Sensor aufkommen. Hierbei sahen die Anordnungen der Schüler*innen meist sehr diffus und chaotisch aus, führten jedoch wie auch die Lösung in der Algodoo-Datei *Smartphone-Kamera-Lösung* zum gewünschten Ziel. Aus diesem Grund wurde von der Betreuerin abschließend ergänzt, dass es weitere Aspekte gibt, welche beim Bau einer Smartphone-Kamera berücksichtigt werden müssen, weshalb für reale Smartphone-Objektive der Aufbau in der Lösungs-Datei verwendet werden muss.

Die Bearbeitung der offen gestellten Beobachtungsaufgabe am Ende der Station (A2.6) fiel den Schüler*innen hingegen wieder schwerer. Die Aufgabe schien den meisten Schüler*innen zu offen gestellt zu sein, sodass sie nicht wussten, worauf sie achten und was sie letztlich im Heft notieren sollen.

Zu Station 3:

Mit der Überprüfung der Leitfähigkeit (V3.1) kamen die Schüler*innen der ersten Lerngruppe gut zurecht. Sie waren in der Lage, den Stromkreis zügig und ohne Hilfestellungen aufzubauen und hatten die sieben Materialien somit schnell auf ihre Leitfähigkeit hin untersucht. Obwohl den Schüler*innen die Aufgabe leichtfiel und die Ergebnisse für sie

nicht überraschend waren, wirkten sie bei der Bearbeitung weder unterfordert noch gelangweilt, sondern hatten Spaß beim Ausprobieren. Die anschließende Frage (W3.1), in welcher die Schüler*innen erklären sollen, warum einige der Materialien leitfähig sind und andere nicht, konnte von den Schüler*innen ebenfalls selbstständig beantwortet werden. Hierbei wurde von der Betreuerin ausschließlich in Form zusätzlicher Fragen interveniert, wenn die Erklärung noch zu ungenau war. Die Anfertigung des Modells eines Leiters und Nichtleiters bereitete den Schüler*innen hingegen große Probleme. Damit die Schüler*innen auf die korrekte Antwort kamen, benötigten sie große Hilfestellungen der Betreuerin, was viel Zeit in Anspruch nahm. Die Beantwortung von Frage A3.1, welche abfragt, wofür Kunststoffe aufgrund ihrer elektrischen Leitfähigkeit verwendet werden, fiel den Schüler*innen hingegen wieder leicht.

Die anschließenden Versuche zur Elektrostatik schienen bei den Schüler*innen großen Forscherdrang zu wecken. So wurde der Papierschnipsel-Versuch (V3.2) von den Schüler*innen beispielsweise mit unterschiedlich vielen Papierschnipseln ausprobiert und versucht vorherzusagen, welche Unterschiede beobachtet werden können. Als die Schüler*innen den Versuch mit weiteren Materialien ausprobieren sollten (V3.3), wurden zudem viele verschiedene Materialien getestet und somit viel Zeit in die Aufgabe investiert. Auch die Erklärung für den Versuch (A3.2) fiel den Schüler*innen nicht schwer, da sie in der Regel schnell darauf kamen, dass durch das Reiben am Wolltuch Ladungen übertragen werden. Bei der Frage zu möglichen Problemen, welche sich aus der Aufladung ergeben könnten (A3.3), wurde von den Schüler*innen ausschließlich die Möglichkeit eines Kurzschlusses genannt, während weitere Probleme von der Betreuerin ergänzt werden mussten.

Die Versuchsanweisung zu Versuch V3.4 (triboelektrische Reihe) schien zunächst einige Verständnisschwierigkeiten zu bergen. So war vielen Schüler*innen nicht klar, ob sie bei dem Versuch das Wolltuch oder die aufgelisteten Materialien an den Winkelmesser halten sollen. Nachdem das Missverständnis von der Betreuerin geklärt wurde, kamen die Schüler*innen hingegen gut mit der Aufgabe zurecht und schienen Spaß beim Experimentieren zu haben. Auch die anschließenden Fragen konnten von den Schüler*innen größtenteils ohne größere Hilfestellungen beantwortet werden. Beispielsweise kamen die Schüler*innen schnell zu der Folgerung, dass einige der Materialien durch das Reiben positiv und andere negativ aufgeladen werden (A3.4). Auch die Bezüge zwischen den Versuchsergebnissen und der triboelektrischen Reihe wurden von den Schüler*innen

allein oder nach kurzer Hilfestellung schnell erkannt (A3.5). Dass ohne die triboelektrische Reihe nicht gesagt werden kann, wie sich die einzelnen Materialien aufladen, schien hingegen nicht allen Schüler*innen klar zu sein und benötigte zusätzliche Erklärungen der Betreuerin. Im Anschluss waren die Schüler*innen jedoch dazu in der Lage, auch die restlichen Aufgaben ohne große Schwierigkeiten zu bearbeiten. Ausschließlich die Frage zum Nutzen der triboelektrischen Reihe (A3.8) fiel den Schüler*innen sehr schwer, so dass zur Bearbeitung viele Hinweise benötigt wurden.

Bei der Durchführung von Versuch V3.4 ergab sich jedoch bei einigen Gruppen eine überraschende, zunächst nicht erklärbare Beobachtung. Da Aluminium und Edelstahl elektrisch leitfähig sind, sollten sie sich bei Reibung am Wolltuch nicht elektrostatisch aufladen, bzw. durch den Hautkontakt der Schüler*innen augenblicklich wieder entladen. Dies hätte zur Folge, dass keine elektrostatische Anziehung oder Abstoßung beobachtet werden kann. Einige der Gruppen konnten jedoch beobachten, dass sowohl Aluminium als auch Edelstahl den PS-Winkelmesser abgestoßen haben. Dies könnte eventuell mithilfe der bereits auf dem Wolltuch vorhandenen Ladungen infolge des vorherigen Versuchs oder der guten Isolation des*r entsprechenden Schülers*in gegenüber seiner*ihrer Umgebung erklärt werden.

Die Aufgaben zur Wärmeleitfähigkeit wurden aufgrund des Zeitmangels leider so gut wie nicht bearbeitet. Zudem waren die Schüler*innen nach Aushändigung der Wärmebildkamera in der Regel so abgelenkt, dass die restlichen Aufgaben in Vergessenheit gerieten und nicht mehr bearbeitet wurden.

Zu Station 4:

In Station 4 sollten die Schüler*innen zunächst mit einem Slinky Longitudinalwellen erzeugen (V4.1). Dies klappte bei zwei der Gruppen auf Anhieb sehr gut. Die anderen Gruppen erzeugten jedoch zunächst Transversalwellen, sodass die Betreuerin eingreifen und den Schüler*innen zeigen musste, wie die Welle erzeugt werden soll. Die anschließende genaue Beschreibung der Beobachtungen (A4.1) schien allen Schüler*innen schwer zu fallen. Viele Schüler*innen sagten, dass sie sehen würden, wie sich eine Welle hin und her bewegt, waren aber nicht in der Lage, dies genauer in Worte zu fassen. Aus diesem Grund konnte der unterschiedliche Abstand zwischen den Ringen erst in der nachfolgenden Aufgabe bei der Verbindung mit dem Teilchenmodell (A4.2) herausgearbeitet werden. Zur Herausarbeitung dieser Verbindung benötigten die Schüler*innen viele

Hilfestellungen, da einerseits das Teilchenmodell bei vielen Schüler*innen nicht mehr präsent war und andererseits der Übergang vom Slinky zum Teilchenmodell sehr schwerfiel.

Die anschließenden Versuche zur Schwingungsanregung (V4.2) und Schallleitung (V4.3) wurden häufig nur von zwei Schüler*innen durchgeführt, während die anderen der Gruppe ausschließlich die Ergebnisse aufschrieben. Alle Gruppen kamen jedoch schnell zu der Schlussfolgerung, dass PU-Schaum am geringsten vom Schall angeregt wird und dass dieser den Schall auch am schwächsten leitet. Eine der Gruppen kam sogar auf die Idee, für die Messung der Schwingungsanregung ein Smartphone als Stoppuhr zu nutzen, um die Materialien möglichst genau ordnen zu können. Bei den zusätzlichen Beobachtungen (A4.4 & A4.6) hielten die meisten Gruppen fest, dass die Gummibänder um den verschiedenen Schalen unterschiedlich stark gespannt sind, sowie dass die Platten unterschiedlich groß sind, wodurch sich Fehler in der Anordnung ergeben können.

Für die Arbeit mit Phyphox in den folgenden Aufgaben erhielten die Schüler*innen zwei Laptops, auf welchen sie sich die Messung anzeigen lassen sollten. Dies funktionierte bei einem der Laptops problemlos, während der andere regelmäßig die Verbindung zum Smartphone verlor. Zudem ergaben sich in Abhängigkeit des verwendeten Smartphones bei den unterschiedlichen Gruppen große Abweichungen in den Messergebnissen. Während die erste Gruppe das LG G3s für die Messung und das Galaxy S7 für die Tonerzeugung verwendete und damit PU-Schaum als am stärksten schalldämmendes Material ermittelte, verwendete die zweite Gruppe das Samsung Galaxy S7 für die Messung und das LG G3s für die Tonerzeugung und ermittelte somit, dass PS besser zur Schalldämmung geeignet ist als PU. Da die Messung der zweiten Gruppe daraufhin wiederholt wurde und sich erneut das gleiche überraschende Ergebnis zeigte, wurde somit darauf geschlossen, dass für zukünftige Messungen das LG G3s genutzt werden sollte oder aber ein anderes Smartphone, mit welchem die Messung zuvor getestet wurde. Abseits der aufgetretenen technischen Probleme schienen die Schüler*innen jedoch Spaß an der Messung zu haben und gespannt auf die Messergebnisse zu sein. Auch die anschließenden Fragen konnten die Schüler*innen größtenteils ohne Hilfestellungen beantworten. Ausschließlich die letzte Frage (A4.12) fiel den Schüler*innen relativ schwer, sodass die Antwort gemeinsam mit der Betreuerin herleitet werden musste.

6.1.2. Rückmeldung der Schüler*innen aus Lerngruppe 1

Für die Rückmeldung der Schüler*innen wurde der Feedbackbogen in Anhang D genutzt.

Auswertung der vorgefertigten Fragen

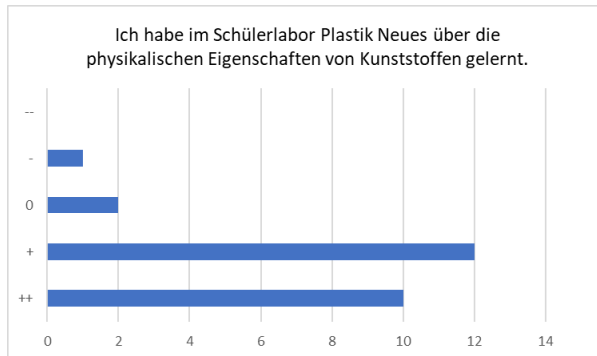
Die Grafiken 1 bis 8 zeigen die Antworten der Schüler*innen von Lerngruppe 1 auf die vorgefertigten Fragen (s. Abschnitt 4.5). Hierbei ist anzumerken, dass nicht alle Schüler*innen alle Fragen beantwortet haben, wodurch sich in Summe nicht bei jeder Frage 25 Antworten ergeben.

Bei Betrachtung der Grafiken lässt sich feststellen, dass der Feedbackbogen überwiegend wie erhofft ausgefallen ist. So antworteten über 84 % der Schüler*innen, dass sie sowohl in Bezug auf die physikalischen Eigenschaften von Plastik als auch in Bezug auf die Einsatzgebiete dieser das Gefühl hätten, etwas oder sogar viel gelernt zu haben (s. Grafik 1 & 2). Gleichzeitig antworteten 72 % der Schüler*innen, dass sie Spaß an der Arbeit im Schülerlabor hatten, wovon sogar 56 % angaben, großen Spaß gehabt zu haben (s. Grafik 4). Zudem scheint das Niveau der Aufgaben für die Lerngruppe angemessen gewesen zu sein, da 60 % der Schüler*innen angaben, dass sie das Niveau als angemessen empfunden haben, während die restlichen 40 % die Aufgaben zu gleichen Teilen als zu schwer und als zu leicht empfanden (s. Grafik 5). Auch die gemeinsame Arbeit und der Austausch mit den Mitschüler*innen scheint durch das Schülerlabor wie gewünscht angeregt worden zu sein, da bei den dafür angelegten Fragen jeweils nur zwei Schüler*innen angaben, wenig oder kaum mit ihren Mitschüler*innen gearbeitet zu haben (s. Grafik 7 & 8).

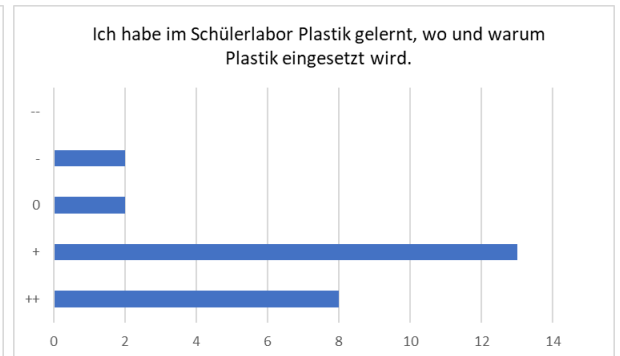
In Bezug auf die Frage, ob die Schüler*innen Neues zur Nachhaltigkeit von Plastik gelernt haben, zeigte sich ein sehr gespaltenes Bild (s. Grafik 3). Die Ursache hierfür kann jedoch darin begründet liegen, dass nicht alle Schüler*innen Station 1 bearbeitet haben, welche sich als einzige Station mit der Nachhaltigkeit von Kunststoffen befasst. Da anhand der Feedbackbögen nicht nachvollzogen werden kann, welche Antworten von den Schüler*innen stammen, die Station 1 nicht bearbeitet haben, kann die Frage somit nicht als aussagekräftig angesehen werden.

Angeichts der Wahrnehmung der Betreuer*innen erscheint zudem das Ergebnis von Grafik 6 überraschend, in welcher die Machbarkeit der Wiederholungsaufgaben abgefragt wurde. Obwohl alle Betreuer*innen den Eindruck besaßen, dass die Schüler*innen bei den Wiederholungsaufgaben große Probleme hatten, gab keiner der Schüler*innen an, Schwierigkeiten bei der Bearbeitung dieser Aufgaben gehabt zu haben. Allerdings wurde

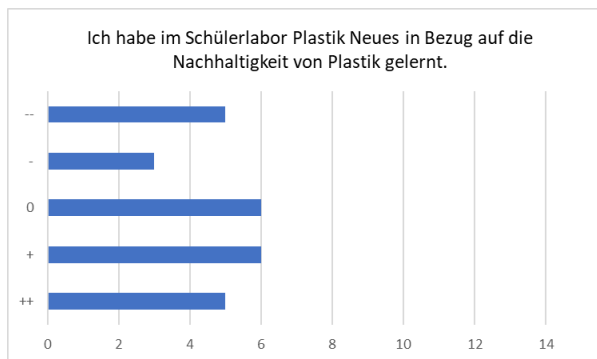
der Begriff der Wiederholungsaufgabe im Vorhinein nicht genauer geklärt, sodass die Ergebnisse Folge eines Missverständnisses gewesen sein können.



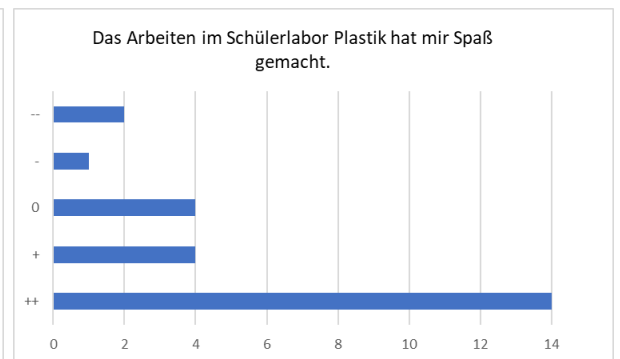
Grafik 1: Auswertung Frage (1) Feedbackbogen, Lerngruppe 1 [1].



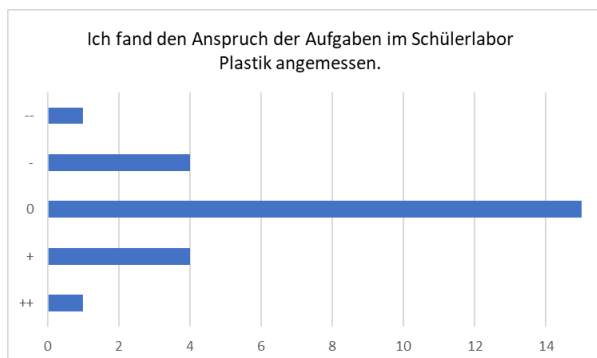
Grafik 2: Auswertung Frage (2) Feedbackbogen, Lerngruppe 1 [1].



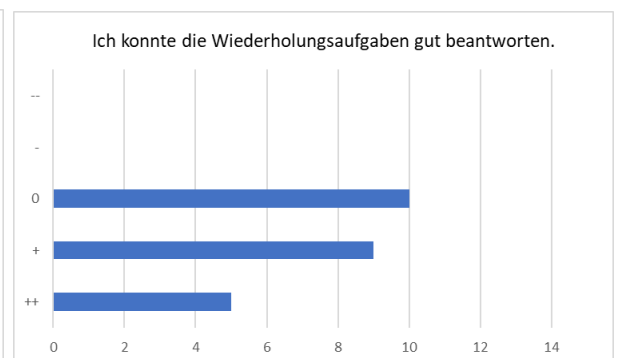
Grafik 3: Auswertung Frage (3) Feedbackbogen, Lerngruppe 1 [1].



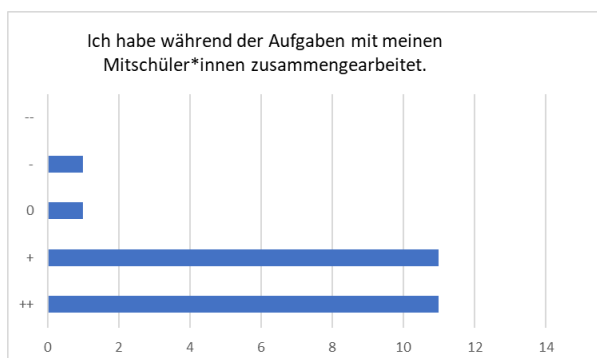
Grafik 4: Auswertung Frage (4) Feedbackbogen, Lerngruppe 1 [1].



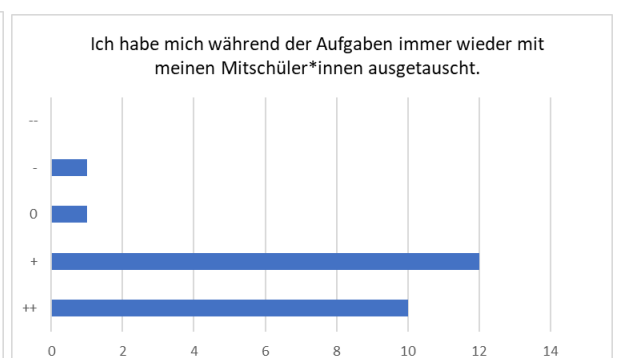
Grafik 5: Auswertung Frage (5) Feedbackbogen, Lerngruppe 1 [1].



Grafik 6: Auswertung Frage (6) Feedbackbogen, Lerngruppe 1 [1].



Grafik 7: Auswertung Frage (7) Feedbackbogen, Lerngruppe 1 [1].



Grafik 8: Auswertung Frage (8) Feedbackbogen, Lerngruppe 1 [1].

Auswertung der offenen Fragen

In den offenen Fragen wurden die Schüler*innen sowohl danach gefragt was sie besonders gut oder interessant fanden als auch nach Anregungen zur Verbesserung des Schülerlabors. Im Rahmen der ersten Frage schrieben 11 Schüler*innen, dass sie das Experimentieren bzw. die Experimente als besonders positiv empfunden haben. Zudem erwähnten jeweils zwei Schüler*innen, dass ihnen die starke Zusammenarbeit mit ihren Mitschüler*innen gut gefallen hat, sowie dass sie die Hilfe der Betreuer*innen als angenehm empfunden haben. In Bezug auf besonders interessante Aspekte des Schülerlabors wurden der Unterschied von Leitungs- und Salzwasser bei Versuch V1.1, der Aufbau der Smartphone-Kamera sowie die Erklärung zur elektrischen Leitfähigkeit genannt. Zudem wurde positiv angemerkt, dass die Fragen verständlich formuliert seien, sowie dass jede Station Anwendungsbezüge aufzeige.

Im Hinblick auf die Verbesserungsmöglichkeiten merkten fünf Schüler*innen an, dass sie sich wünschen würden, weniger schreiben zu müssen und mehr mündlich zu machen. Zudem merkten vier Schüler*innen an, dass das Zeitmanagement verbessert werden sollte, während vier weitere Schüler*innen weniger Aufgaben pro Station empfahlen. Des Weiteren wurde festgestellt, dass der Einstieg zu Beginn des Schülerlabors ausführlicher gestaltet werden könnte, was auch vom Physiklehrer der Klasse angemerkt wurde.

6.1.3. Änderungen aufgrund der ersten Durchführung

Da sowohl den Betreuer*innen als auch den Schüler*innen die starke Misskalkulation der Zeitplanung aufgefallen ist, wurden für die zweite Durchführung mehrere Aufgaben gestrichen. In Bezug auf Station 1 wurde die Rechenaufgabe (A1.5) gestrichen, da diese überaus zeitaufwendig war, die Schüler*innen demotivierte und gleichzeitig wenig gewinnbringend erschien. Aus denselben Gründen wie bei Station 1 wurde bei Station 2 der Abschnitt zur Bestimmung der Brechungsindizes gestrichen. Bei Station 3 wurden hingegen die Aufgaben zur Wärmeleitfähigkeit weggelassen, da die Station bereits ohne diesen Abschnitt in sich abgeschlossen ist. Zudem wurde Versuch V3.3 (erweiterter Papierschnipsel-Versuch) auf die Untersuchung zweier weiterer Materialien eingeschränkt, um Zeit einsparen zu können. Auch auf die Betrachtung der elektrostatischen Eigenschaften von Aluminium und Edelstahl wurde in der zweiten Durchführung verzichtet, um falsche physikalische Schlussfolgerungen aufgrund unerwarteter Experimentausgänge zu

vermeiden und gleichzeitig Zeit einzusparen. Bei Station 4 wurden zudem alle Aufgaben und Fragen zur Raumakustik bis auf Frage A4.12 gestrichen. Der Abschnitt zur Raumakustik wurde aus dem Schülerlabor entfernt, da die Schüler*innen durch die Betrachtung der Schalldämmung und Raumakustik sehr oft dasselbe Messprinzip anwenden müssen, was auf Dauer langweilig werden kann. Zudem ist es möglich, Aufgabe A4.12 ausschließlich aufbauend auf dem Versuch zur Schalldämmung zu beantworten.

Zusätzlich zur Streichung einzelner Aufgaben sollte die Einstiegsphase im Plenum im zweiten Durchgang langsamer und ausführlicher gestaltet werden. Hierbei sollte zusätzlich auf die verschiedenen Aspekte des Forscherheftes eingegangen und erklärt werden, warum im Schülerlabor neben Kunststoffen auch Materialien wie Glas, Pappe und Metalle untersucht werden. Darüber hinaus sollte der Fragebogen in der zweiten Durchführung vor dem Ausfüllen mit den Schüler*innen besprochen werden, um mögliche Unklarheiten klären zu können.

6.2. Zweite Durchführung

Bei der zweiten Lerngruppe handelte es sich um einen Physik-Grundkurs aus der E-Phase der Helmholtzschule im Frankfurter Ostend. Die Lerngruppe bestand aus 24 Schüler*innen, sodass diese gleichmäßig auf die vier Stationen aufgeteilt werden konnten. An jeder Station arbeiteten somit sechs Schüler*innen.

6.2.1. Wahrnehmung der Betreuer*innen zu Lerngruppe 2

Im Gegensatz zur ersten Lerngruppe wirkte die zweite Lerngruppe selbstständiger und schien mehr Vorwissen mitzubringen. Dies zeigte sich bereits in der Einstiegsphase, in welcher die zweite Lerngruppe bedeutend mehr physikalische Eigenschaften nennen konnten. Auch bei den Wiederholungsaufgaben hatten die Schüler*innen der zweiten Lerngruppe im Allgemeinen wesentlich weniger Schwierigkeiten. Zudem kann festgehalten werden, dass die Schüler*innen überwiegend sehr fleißig und konzentriert mitgearbeitet haben.

In Bezug auf die zeitliche Planung konnte festgestellt werden, dass diese durch die in Abschnitt 6.1.3 beschriebenen Kürzungen in der zweiten Durchführung hinreichend gut eingehalten werden konnte. Zwar dauerte die Durchführung einer Station immer noch 45 bis 60 Minuten anstelle der geplanten 45 Minuten, wodurch die Durchführung der letzten

Station im Schnelldurchlauf erfolgen musste, im Gegensatz zur ersten Durchführung konnten jedoch alle Stationen von den Schüler*innen bearbeitet werden.

Des Weiteren konnte ein starker Unterschied in der Bearbeitungsdauer der Stationen in Abhängigkeit der Gruppe beobachtet werden. So gab es eine Gruppe, welche im Vergleich zu den anderen Gruppen sehr langsam arbeitete und die Stationen aus diesem Grund häufig nicht vollständig bearbeiten konnte.

Zu Station 1:

Bei der ersten Station des Schülerlabors wies die zweite Lerngruppe im Vergleich zur ersten Lerngruppe erheblich weniger Schwierigkeiten auf. Dies zeigte sich unter anderem in der Bearbeitung der Wiederholungsaufgaben, welche von allen Schüler*innen der zweiten Lerngruppe ohne Probleme selbstständig bearbeitet werden konnten. Jede*r Schüler*in wusste, was die Dichte ist, wie diese definiert ist und was in Bezug auf die Dichte gelten muss, damit ein Objekt auf einer Flüssigkeit schwimmt. Ausschließlich die Einheit der Dichte sorgte bei den Schüler*innen für Verwirrung, da sie diese in der Schule als kg/m^3 kennengelernt hatten. Um dieser Verwirrung entgegenzuwirken, musste von der betreuenden Person zunächst geklärt werden, wie man von kg/m^3 auf g/cm^3 kommt, was etwas Zeit in Anspruch nahm.

Die Versuch V1.1 (Schwimmversuch) vorangestellte Aufgabe zur Aufstellung von Vermutungen über den Ausgang des Experiments (A1.1) regte in Lerngruppe 2 starke Diskussionen an. Zur Entscheidungsfindung bezogen die Schüler*innen sowohl die Aussagen der vorherigen Wiederholungsaufgabe (W1.1) als auch die Tabelle zur Kunststoffübersicht mit ein. W1.1 wurde hierbei miteinbezogen, indem die Schüler*innen Überlegungen dazu anstellten, ob die Dichte des betrachteten Materials größer oder kleiner als die Dichte der entsprechenden Flüssigkeiten ist. Die Kunststofftabelle wurde hingegen genutzt, um mithilfe der gegebenen Beispiele zur Anwendung der Materialien, Überlegungen zur Schwimmfähigkeit dieser anstellen zu können. Auch bei Lerngruppe 2 wurden dabei Alltagserfahrungen wie die Schwimmfähigkeit einer PET-Flasche miteinbezogen. Wie bereits Lerngruppe 1 schätzten auch die Schüler*innen aus Lerngruppe 2 PET und PMMA am häufigsten falsch ein. Im Vergleich zu Lerngruppe 1 kam es bei Lerngruppe 2 jedoch nicht zu einem spürbaren Überraschungseffekt, als sich herausstellte, dass die Ergebnisse nicht ihren Vermutungen entsprachen. Stattdessen beschäftigten sich die Schüler*innen aus Lerngruppe 2 im Anschluss an V1.2 stärker mit der Frage, welche

Schlussfolgerung aufgrund des Versuchsausgangs im Hinblick auf die Dichte von PMMA getroffen werden kann.

Bei der Durchführung von Versuch V1.3 (Überlaufversuch) konnte im Gegensatz zu Lerngruppe 1 beobachtet werden, dass die Schüler*innen unsauberer arbeiteten und häufig vergaßen, das Becherglas nach der ersten Messung wieder bis zum Anschlag aufzufüllen. Da eine Gruppe diesen Fehler erst sehr spät bemerkte und den Versuch dadurch nicht nochmal wiederholen konnte, ergaben sich bei dieser Gruppe starke Abweichungen von den Literaturwerten. Alle korrekt durchgeführten Messungen ergaben hingegen hinreichend genaue Ergebnisse, welche maximal um $0,4 \frac{g}{cm^3}$ vom Literaturwert abwichen. Mit dem Ausfüllen der Tabelle kamen die Schüler*innen der zweiten Lerngruppe wesentlich besser zurecht und benötigten ausschließlich bei Spalte 4 Hilfe, um die Formel zur Berechnung der Dichte nach dem Volumen umzustellen.

Bei der anschließenden Fehleranalyse (A1.2) wiesen die Schüler*innen keine Schwierigkeiten auf und nannten viele verschiedene potenzielle Fehlerquellen. Dass auch Hohlräume in den Objekten eine Ursache für mögliche Ungenauigkeiten darstellen können, konnte hingegen auch von Lerngruppe 2 nicht ohne Hilfestellung erkannt werden.

Die Textaufgabe (L1.1) konnte von den Schüler*innen schließlich ohne Schwierigkeiten und sehr zügig bearbeitet werden. Hierbei wurde der Text in der Regel ausschließlich überflogen, um die für die Aufgaben relevanten Informationen herauszuarbeiten.

Zu Station 2:

Beim Einstiegsversuch V2.1 (Brillenglas-Experiment) zeigten sich im Vergleich zu Lerngruppe 1 keine Unterschiede. Auch Lerngruppe 2 sortierte alle Brillengläser richtig, machte ihre Entscheidung in erster Linie am Klang fest und bemerkte zum Teil den Unterschied des Gewichts.

Im Hinblick auf die Definition von Reflexion und Transmission (W2.1) zeigten sich erste Unterschiede zwischen den Lerngruppen. Im Gegensatz zu Lerngruppe 1 war der Begriff der Reflexion den Schüler*innen aus Lerngruppe 2 vertraut, sodass sie in der Lage waren, diesen in eigenen Worten zu erklären. Den Begriff der Transmission kannte Lerngruppe 2 wie bereits Lerngruppe 1 nicht. Mit kleinen Hinweisen der Betreuerin konnte der Begriff der Transmission jedoch schnell von den Schüler*innen hergeleitet werden. Trotz der Kenntnis der Reflexion und der schnellen Herleitung des Transmissionsbegriffs

benötigten die Schüler*innen letztlich Hilfe beim Ausfüllen des Lückentextes, da dieser sehr spezielle Begriffe fordert, auf welche die Schüler*innen allein nicht kamen.

Bei der Durchführung von Versuch V2.2 zur Untersuchung der Reflexions- und Transmissionseigenschaften benötigten die Schüler*innen aus Lerngruppe 2 wesentlich weniger Hilfestellungen als die Schüler*innen aus Lerngruppe 1. Die Schüler*innen bewegten die Objekte auf Anhieb wesentlich langsamer und konnten die zu entdeckenden Effekte dadurch in der Regel ohne Hilfestellung erkennen. Die Fragen zum Versuch (A2.1 bis A2.5) konnten von den Schüler*innen überwiegend problemlos beantwortet werden. Ausschließlich die Frage, was ein Kunststoff in Bezug auf seine Reflexions- und Transmissionseigenschaften erfüllen muss (A2.4), schien für die Schüler*innen zu trivial zu sein und dadurch wie bereits bei Lerngruppe 1 für Verwirrung zu sorgen. Zudem kannte auch Lerngruppe 2 den Begriff der Dispersion nicht, sodass dieser von der Betreuerin ergänzt werden musste.

Das Thema Smartphone schien im Gegensatz zur ersten Lerngruppe kein merklich gesteigertes Interesse bei den Schüler*innen zu wecken. Bei der Bearbeitung der zugehörigen GeoGebra-Aufgabe (V2.4) wiesen die Schüler*innen zudem größere Schwierigkeiten auf als Lerngruppe 1. So fiel es den Schüler*innen beispielsweise schwer, den bewegbaren Punkt isoliert in eine Richtung zu bewegen, wodurch sie schnell falsche Schlüsse zogen. Infolgedessen konnten die anschließenden Aufgaben (A2.7 bis A2.11) nur mit starker Unterstützung der Betreuerin bearbeitet werden.

Die Algodoo-Aufgabe sorgte schließlich wie auch bei Lerngruppe 1 für eine große Begeisterung der Schüler*innen. Im Gegensatz zu Lerngruppe 1 schaffte es jedoch nur eine Gruppe, die Linsen so anzuordnen, dass alle Laserstrahlen auf dem Sensor aufkamen, wobei die von den Schüler*innen gefundene Anordnung der Musterlösung sehr nah kam. Dass viele Schüler*innen die Aufgabe nicht lösen konnten, schmälerte die Begeisterung jedoch nicht.

Im abschließenden Versuch (V2.6) arbeitete die Lerngruppe im Vergleich zu Lerngruppe 1 wesentlich zielgerichteter und war dadurch in der Lage, eigene Beobachtungen aufzustellen. Zwar wurden nicht die in der Musterlösung formulierten Beobachtungen gemacht, dafür konnten die Schüler*innen jedoch feststellen, dass jeder Strahl, welcher auf der vordersten Linse aufkommt, unabhängig von Farbe und Winkel auch auf dem Sensor

auftritt. Hierbei muss ausschließlich der Fall einer Totalreflexion ausgeschlossen werden.

Zu Station 3:

Obwohl Lerngruppe 2 im Allgemeinen leistungstärker erschien als Lerngruppe 1, hatten sie bei der Bearbeitung von Station 3 erheblich größere Schwierigkeiten. Die zu beobachtenden Probleme bei der Bearbeitung der Aufgaben überraschten selbst den Lehrer des Kurses, welcher die Station als für die Schüler*innen gut bearbeitbar einschätzte.

Bereits beim ersten Versuch (V3.1) taten sich zwei der Gruppen schwer, einen einfachen Stromkreis zur Überprüfung der Leitfähigkeit aufzubauen. Ein kleiner Hinweis reichte jedoch bereits aus, um die Schwierigkeiten der Schüler*innen zu beseitigen. Bei der anschließend gesuchten Erklärung zur Leitfähigkeit (W3.1) beschrieben alle Schüler*innen zunächst, welche Materialien leiten und nicht, warum diese leiten. Um zur korrekten Erklärung von W3.1 zu gelangen, benötigten die meisten Schüler*innen aus Lerngruppe 2 im Gegensatz zu denen aus Lerngruppe 1 zunächst Hilfestellungen der Betreuerin. Bei der Bearbeitung der Aufgabe W3.2 und A3.1 zeigten sich jedoch keine Unterschiede zwischen den Lerngruppen. Beide Gruppen benötigen bei Aufgabe W3.2 viele Hilfestellungen, um die geforderten Modelle zeichnen zu können, während sie A3.1 schnell und einfach beantworten konnten.

Das anschließende Experiment V3.2 (Papierschnipsel-Versuch) schien den Schüler*innen Spaß zu machen, weckte jedoch nicht denselben Forscherdrang wie bei Lerngruppe 1. Zudem benötigten die Schüler*innen für die Erklärung des Versuchs wesentlich mehr Hinweise und kamen nicht selbstständig auf Probleme, welche sich aus der elektrostatischen Eigenschaft von Kunststoffen ergeben können.

Die Verständnisschwierigkeiten, welche Lerngruppe 1 bei Experiment V3.4 (triboelektrische Reihe) aufwies (s. Abschnitt 6.1.1.), zeigten sich bei Lerngruppe 2 nicht. Alle Schüler*innen verstanden von Beginn an, dass sie nicht das Wolltuch, sondern die verschiedenen Materialien an den Winkelmesser halten sollen. Dafür mussten die Schüler*innen von Lerngruppe 2 hingegen häufig darauf aufmerksam gemacht werden, wie sie den Gegenstand richtig an den Winkelmesser halten. Mehrmals wurde der Gegenstand von den Schüler*innen mit der dünnen Seite an den Winkelmesser gehalten oder so an den Winkelmesser gehalten, dass er den kompletten Winkelmesser abdeckte. Beides hatte zur Folge, dass weder Anziehung noch Abstoßung beobachtet werden konnte.

Für die Bearbeitung der Aufgaben zur triboelektrischen Reihe (A3.4 bis A3.9) benötigten die Schüler*innen viel Zeit sowie zusätzliche Hilfestellungen. Insbesondere der Zusammenhang zwischen den Beobachtungen im Experiment und der triboelektrischen Reihe (A3.5), konnte von den Schüler*innen nur schwerlich erkannt werden. Zudem hätte die Aufgabe zum Nutzen der triboelektrischen Reihe (A3.8) wie bereits bei Lerngruppe 1 ohne die Betreuerin nicht beantwortet werden können.

Zu Station 4:

Vergleicht man die beiden Lerngruppen miteinander, fällt auf, dass Lerngruppe 2 etwas besser mit Station 4 zurechtkam als Lerngruppe 1. Dies machte sich beispielsweise dadurch bemerkbar, dass keine der Gruppen aus Lerngruppe 2 eine Transversalwelle anstelle einer Longitudinalwelle erzeugte (V4.1) und allen Schüler*innen das Teilchenmodell noch präsent war. Selbst der Übergang vom Slinky zum Teilchenmodell (A4.2) konnte von einzelnen Schüler*innen der Lerngruppe selbstständig geleistet werden. Hierdurch konnte Aufgabe A4.2 von zwei Gruppen ohne größere Intervention der Betreuerin gelöst werden, da die Schüler*innen, welche schnell auf die Lösung kamen, diese ihren Mitschüler*innen im Anschluss in Ruhe erklärten. Die Schwierigkeiten der anderen zwei Gruppen bei der Bearbeitung von Aufgabe A4.2, waren hingegen vergleichbar mit denen von Lerngruppe 1. Die detaillierte Formulierung der Beobachtungen zu Versuch V4.1 (Slinky-Welle) fiel den Schüler*innen ebenfalls schwer, sodass sie wie bereits Lerngruppe 1 viele Anreize zur genauen Beschreibung der entstandenen Welle benötigten.

Bei den anschließenden Versuchen zur Schwingungsanregung (V4.2) und zur Schallleitung (V.4.3) konnten im Gegensatz zu Lerngruppe 1 alle Schüler*innen in den Experimentierprozess und die anschließende Diskussion mit einbezogen werden. Hierfür bedurfte es ausschließlich einer kurzen Anmerkung der Betreuerin, dass alle Schüler*innen mitexperimentieren sollen. Darüber hinaus gab es in Bezug auf die beiden Versuche und die dazugehörigen Aufgaben keine bemerkenswerten Unterschiede im Vergleich zur ersten Lerngruppe.

Bei Versuch V4.5 (Schalldämmung) ergaben sich wie bereits bei Lerngruppe 1 vereinzelte technische Schwierigkeiten bei der Verbindung von Phyphox mit dem Laptop, sodass eine Gruppe die Auswertung des Experiments ausschließlich auf dem Smartphone durchführen musste. Zudem ergaben sich bei vielen Gruppen nicht die gewünschten Ergebnisse, sodass nach den Versuchsergebnissen beispielsweise die PS-Platten oder die

Papp-Box die beste Schalldämmung aufwiesen. Dies kann durch das Auftreten von Resonanzphänomenen im Inneren der Kisten erklärt werden, sodass das Experiment für zukünftige Durchführungen nochmals optimiert werden sollte. Die fehlerhaften Ergebnisse schienen jedoch den Spaß und das Interesse der Schüler*innen an der Station nicht zu mindern und selbst die sich aus den Problemen ergebende Fehleranalyse schien für die Schüler*innen spannend zu sein.

Bei der letzten Aufgabe der Station (A4.12) benötigte Lerngruppe 2 wie bereits Lerngruppe 1 mehrere Hilfestellungen, um die Aufgabe beantworten zu können. Dabei war es insbesondere hilfreich, die Schüler*innen an die Ursachen für den Stillstand einer Bewegung aus dem Mechanik-Unterricht zu erinnern.

6.2.2. Rückmeldung der Schüler*innen aus Lerngruppe 2

Auswertung der vorgefertigten Fragen

Die Grafiken 9 bis 16 zeigen die Auswertung des Feedbackbogens für Lerngruppe 2. Hierbei ist anzumerken, dass bei Frage (3) ausschließlich die Antworten von zwei Gruppen in die Auswertung miteinbezogen wurden, da die anderen Gruppen den Text in Station 1 zur Nachhaltigkeit von Kunststoffen aus zeitlichen Gründen nicht bearbeiten konnten.

Im Gegensatz zu Lerngruppe 1 waren die Schüler*innen von Lerngruppe 2 einstimmig der Meinung, im Schülerlabor etwas über die physikalischen Eigenschaften von Plastik gelernt zu haben. So gaben 12 der Schüler*innen an, dass sie Aussage (1) zustimmen, während die restlichen 12 Schüler*innen angaben, dass sie der Aussage voll zustimmen (s. Grafik 9). Im Vergleich zu Lerngruppe 1, in welcher 88 % der Antworten in diesem Bereich lagen, ist dies somit etwas mehr. Getrübt sah das Stimmungsbild in Bezug auf die Einsatzorte von Plastik aus. So gaben zwar immer noch 60 % der Schüler*innen an, etwas oder sogar viel über die Einsatzorte von Kunststoffen gelernt zu haben, die restlichen 40 % standen der Aussage jedoch neutral gegenüber oder gaben an, dass sie der Aussage nicht zustimmen würden (s. Grafik 10). Im Vergleich zu Lerngruppe 1, in welcher 84 % angaben, etwas oder viel über die Einsatzorte gelernt zu haben, ist hier somit eine zur ersten Frage entgegengesetzte Differenz zu beobachten.

Die Antworten zum Thema Nachhaltigkeit zeigten wie bereits bei Lerngruppe 1 ein sehr gespaltenes Meinungsbild (s. Grafik 11), obwohl bei diesem Durchgang darauf geachtet

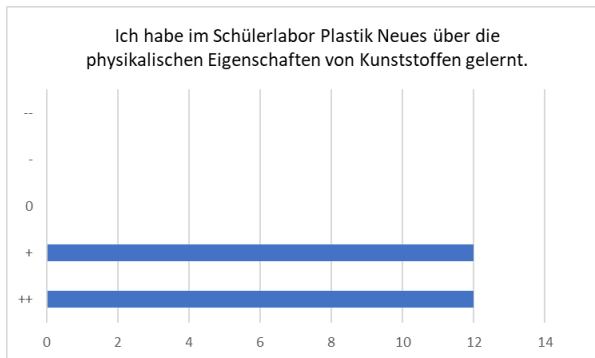
wurde, ausschließlich Gruppen in die Auswertung einzubeziehen, welche den Text in Station 1 gelesen haben. Im Vergleich zu Lerngruppe 1 fielen die Ergebnisse zwar etwas besser aus, jedoch nicht erheblich. Ursache für die sehr unterschiedliche Auffassung der Schüler*innen in Bezug auf diese Frage kann das individuelle Interesse dieser sein, welches zur Folge haben kann, dass einige Schüler*innen mehr Vorwissen zur Nachhaltigkeit mitbringen als andere.

Frage (4), welche abfragt, ob die Schüler*innen Spaß an der Arbeit im Schülerlabor hatten, fiel bei Lerngruppe 2 im Durchschnitt wesentlich schlechter aus als bei Lerngruppe 1. Während in Lerngruppe 1 72 % der Schüler*innen angaben, Spaß bei der Arbeit im Schülerlabor gehabt zu haben, 56 % sogar großen Spaß, waren es in Lerngruppe 2 nur 62,5 %, wobei ausschließlich 33,3 % großen Spaß hatten. Von den restlichen 37,5 % gaben 12,5 % an, überhaupt keinen Spaß gehabt zu haben und 25 % standen der Aussage neutral gegenüber (s. Grafik 12).

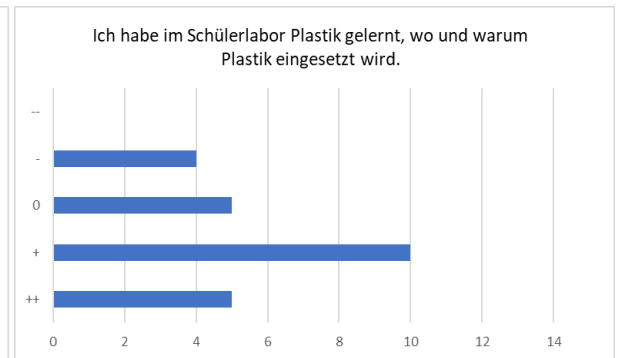
Den Anspruch empfanden die Schüler*innen von Lerngruppe 2 wie auch schon die Schüler*innen von Lerngruppe 1 überwiegend als angemessen. Auch hier gab es ein paar Schüler*innen, welche den Anspruch als zu schwer und andere, welche den Anspruch als zu leicht empfanden (s. Grafik 13). Schaut man sich jedoch den Durchschnitt an, liegt dieser exakt im angestrebten Bereich.

In Bezug auf die Wiederholungsaufgaben wurde in diesem Durchgang zunächst sichergestellt, dass den Schüler*innen die Bedeutung des Begriffs *Wiederholungsaufgabe* bewusst ist. Aus diesem Grund können die Angaben im Gegensatz zu denen aus Lerngruppe 1 als aussagekräftig angesehen werden. Von Lerngruppe 2 gab über die Hälfte der Schüler*innen (58,3 %) an, dass sie die Wiederholungsaufgaben gut beantworten konnte. 12,5 % gaben hingegen an, dass sie der Aussage neutral gegenüberstehen, während die restlichen 29,2 % der Aussage nicht zustimmten und somit Schwierigkeiten bei der Bearbeitung der Wiederholungsaufgaben zu haben schienen (s. Grafik 14).

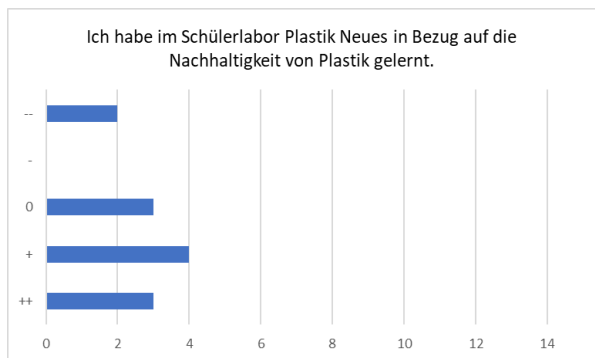
Die Ergebnisse der Fragen (7) und (8) fielen vergleichbar mit denen von Lerngruppe 1 aus und zeigen somit, dass die Schüler*innen durch die Aufgaben des Schülerlabors überwiegend zur Arbeit als auch zur Diskussion mit ihren Mitschüler*innen angeregt wurden (Grafik 15 & 16).



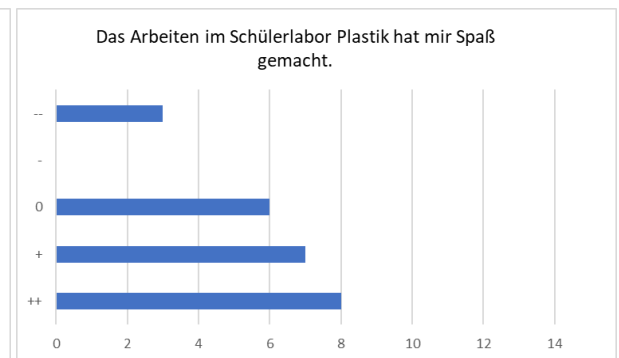
Grafik 9: Auswertung Frage (1) Feedbackbogen, Lerngruppe 2 [1].



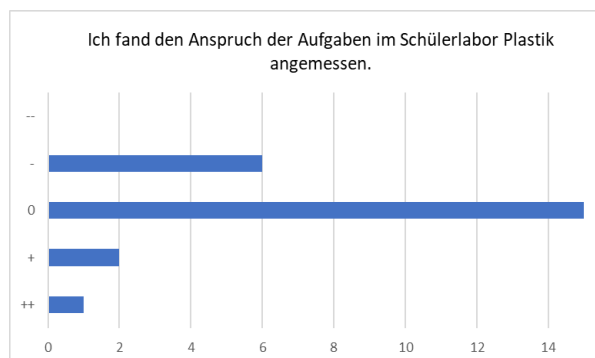
Grafik 10: Auswertung Frage (2) Feedbackbogen, Lerngruppe 2 [1].



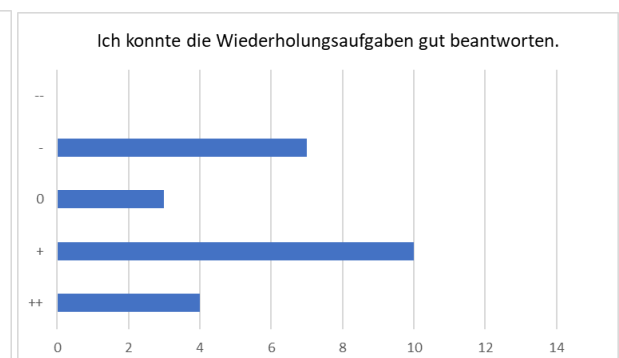
Grafik 11: Auswertung Frage (3) Feedbackbogen, Lerngruppe 2 [1].



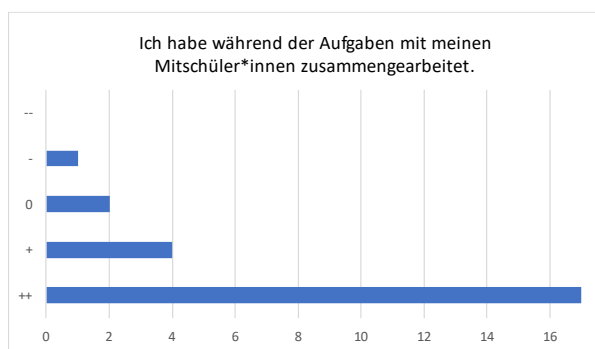
Grafik 12: Auswertung Frage (4) Feedbackbogen, Lerngruppe 2 [1].



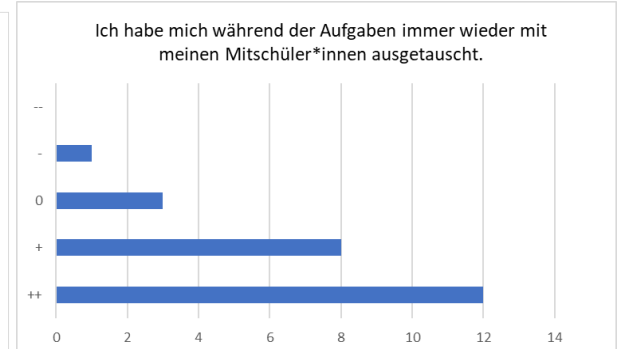
Grafik 13: Auswertung Frage (5) Feedbackbogen, Lerngruppe 2 [1].



Grafik 14: Auswertung Frage (6) Feedbackbogen, Lerngruppe 2 [1].



Grafik 15: Auswertung Frage (7) Feedbackbogen, Lerngruppe 2 [1].



Grafik 16: Auswertung Frage (8) Feedbackbogen, Lerngruppe 2 [1].

Auswertung der offenen Fragen

Bei der Auswertung der offenen Fragen der zweiten Lerngruppe zeigten sich starke Unterschiede zu Lerngruppe 1. Während bei der ersten Lerngruppe 11 von 25 Schüler*innen angaben, dass sie das Experimentieren als besonders positiv empfanden, wurde dies in Lerngruppe 2 nur zweimal erwähnt. Stattdessen wurde in Lerngruppe 2 von vielen Schüler*innen benannt, welche Station oder Aufgabe ihnen besonders gut gefallen hat. Hierbei wurde einmal die Station Plastik in der Optik, drei Mal der Abschnitt zur Elektrostatik, drei Mal die Aufgaben zum Schall und der Lautstärke-Messung und fünf Mal die Versuche zum Thema Dichte erwähnt.

Wie bereits in Lerngruppe 1 merkten auch in Lerngruppe 2 mehrere Schüler*innen an, dass sie die starke Zusammenarbeit mit ihren Mitschüler*innen als angenehm empfanden. Dass es keine Stillarbeitsphasen gab, wurde in diesem Kontext zusätzlich als positiv vermerkt.

Des Weiteren wurde von einzelnen Schüler*innen in Bezug auf die positiven Aspekte des Schülerlabors der Aufbau des Labors, die Art der Wissensvermittlung sowie die Verschiedenheit der Stationen und die damit einhergehende Abwechslung erwähnt.

Die Hilfe der Betreuer*innen wurde von Lerngruppe 2 im Gegensatz zu Lerngruppe 1 hingegen nicht positiv angemerkt. Stattdessen schrieben zwei Schüler*innen, dass sie sich mehr Freiheiten und weniger Eingriffe der Betreuer*innen wünschten, während ein*e weitere*r Schüler*in angab, dass mehr Erklärungen der Betreuer*innen wünschenswert gewesen wären.

Auch der zeitliche Aspekt wurde von den Schüler*innen der zweiten Lerngruppe erneut kritisch angemerkt. So wünschten sich 8 Schüler*innen mehr Zeit bei der Bearbeitung der Stationen, wobei auf der einen Seite der Wunsch nach weniger Aufgaben und auf der anderen Seite der Wunsch nach einer längeren Dauer des Schülerlabors geäußert wurde. Hierbei sollte jedoch angemerkt werden, dass 5 der 8 Wünsche zu mehr Bearbeitungszeit aus der Gruppe stammten, welche im Vergleich zu den anderen Gruppen sehr langsam gearbeitet hat und die meisten Stationen dadurch nicht fertig bearbeiten konnte.

Des Weiteren wurde von der Lehrperson des Kurses angemerkt, dass der Name des Schülerlabors ansprechender gestaltet werden könnte, da der Name *Plastik* sehr simpel ist und auf die Schüler*innen keinen motivierenden Eindruck macht.

6.2.3. Änderungen aufgrund der zweiten Durchführung

Aufgrund der Kritikpunkte der Schüler*innen und einiger Aspekte, welche den Betreuer*innen bei der Durchführung aufgefallen sind, wurde eine weitere Anpassung des Schülerlabors vorgenommen.

Infolge der Anmerkung der Lehrperson zum Namen des Schülerlabors wurden zunächst Überlegungen zu einem neuen und ansprechenderen Namen für das Schülerlabor angestellt. Anstelle des sehr unspektakulären Namens „Plastik“ wurde der Name „*Life In Plastic – It’s Fantastic? Kunststoffe im Blickpunkt der Physik*“ als neuer Name für das Schülerlabor ausgewählt. Der erste Abschnitt des Titels spielt auf das Lied *Barbie Girl* von der Musikgruppe Aqua aus dem Jahr 1997 an, welches durch Generationen hinweg auch heute noch eine hohe Bekanntheit aufweist. Hierdurch soll ein Bezug zu den Schüler*innen geschaffen werden, welcher mit dem Aufbau von Motivation und Interesse einhergeht. Der zweite Abschnitt des Titels bringt hingegen zum Ausdruck, womit sich das Schülerlabor thematisch befasst, und dient somit in erster Linie der Information über die Inhalte des Schülerlabors.

Zu Station 1:

Obwohl zwei der Gruppen aus Lerngruppe 2 den letzten Abschnitt der Station aus zeitlichen Gründen nicht mehr bearbeiten konnten, wurden keine weiteren Streichungen an Station 1 vorgenommen. Diese Entscheidung ist damit begründet, dass die anderen beiden Gruppen bei der Bearbeitung von Station 1 sogar als erste Gruppe fertig waren, woraus sich schließen lässt, dass die Bearbeitungsdauer von Station 1 stark gruppenabhängig ist. Zudem benötigen die Schüler*innen für die Bearbeitung des Textes nicht die Umgebung des Schülerlabors, sodass sie diesen bei Interesse auch im Anschluss an das Schülerlabor oder im Physikunterricht bearbeiten können. Somit wurde in Bezug auf Station 1 ausschließlich die verwendete Einheit der Dichte von $\frac{g}{cm^3}$ zu $\frac{kg}{m^3}$ abgeändert, um unnötige Verwirrung bei den Schüler*innen zu vermeiden. Das Problem kam zwar bei Lerngruppe 1 nicht auf, die lag jedoch mit großer Sicherheit an der allgemeinen Unkenntnis der Dichte.

Zu Station 2:

In Bezug auf Station 2 wurden zunächst die Definitionen von Reflexion und Transmission in Aufgabe W2.1 umformuliert, um die Schwierigkeiten bei der Vervollständigung des Lückentextes zu verringern. Anstelle der durchaus spezifischen Begriffe *Zurückwerfen* und *Durchgang* müssen die Lücken nun mit den Begriffen *zurückgeworfen werden* und *hindurchgehen* oder dazu synonymen Ausdrücken gefüllt werden (s. Abb. 16). Anhand der neuen Formulierung sollte es den Schüler*innen zudem möglich sein, die Lücke in der Definition zur Transmission intuitiv zu vervollständigen, wodurch die Kenntnis des Begriffs Transmission nicht zwangsläufig vonnöten ist. Dies hat zur Folge, dass die Schüler*innen nun in der Lage sein sollten, Aufgabe W2.1 selbstständig zu bearbeiten.

	Vervollständige anhand deines Vorwissens die folgenden Definitionen:
	Als Reflexion bezeichnet man, wenn Strahlen oder Wellen an einer Grenzfläche _____.
	Als Transmission bezeichnet man, wenn Strahlen oder Wellen durch ein Medium _____.

Abb. 16: Aufgabe W2.1 aus der überarbeiteten Version des Forscherhefts (Anhang E) [1].

Aufgabe A2.4, welche bei beiden Lerngruppen für große Verunsicherung sorgte, wurde vollständig aus dem Schülerlabor gestrichen. Diese Entscheidung liegt darin begründet, dass die Schüler*innen die Aufgabe als zu trivial und nicht als zu schwer empfanden, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Aufgabe zur Beantwortung der darauffolgenden Fragen nicht benötigt wird.

Zu Station 3:

An Station 3 wurden in Folge der zweiten Durchführung die meisten Veränderungen vorgenommen. Aufgrund der häufig falsch interpretierten Fragestellung bei Aufgabe W3.1 ist das *Warum* in der Fragestellung nun fett gedruckt, um das Ziel der Frage deutlicher hervorzuheben. Da Lerngruppe 2 wie bereits Lerngruppe 1 große Schwierigkeiten bei der zeichnerischen Darstellung der Leitfähigkeit im Modell aufwies (W3.2), ist zudem eine Abwandlung von Aufgabe W3.2 vorgenommen worden. Anstatt das gesamte Modell zeichnen zu müssen, erhalten die Schüler*innen nun ausschließlich die Aufgabe, die Elektronen in ein vorgefertigtes Modell einzuzeichnen (s. Abb. 17). Dies sollte den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe erheblich senken und die Aufgabe so für die Schüler*innen besser bearbeitbar machen.

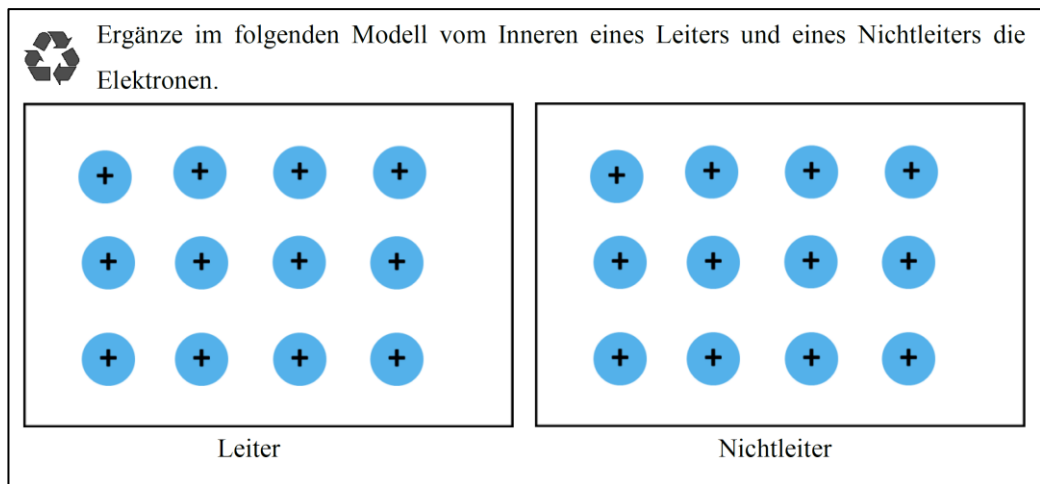


Abb. 17: W3.2 aus der überarbeiteten Version des Forscherhefts (Anhang E) [1].

Die Aufgabenstellung von Experiment V3.4 wurde ebenfalls angepasst, indem ein Verweis auf die Abbildung neben der Aufgabenstellung, welche die korrekte Durchführung des Experiments zeigt, eingefügt wurde. Hierdurch soll für die Schüler*innen hervorgehoben werden, wie die Gegenstände an den Winkelmesser gehalten werden müssen, um Fehler bei der Durchführung reduzieren zu können und die Selbstständigkeit der Schüler*innen zu erhöhen.

Da Aufgabe A3.8 bei beiden Gruppen ebenfalls für große Schwierigkeiten sorgte, wurde auch diese angepasst und durch ein Gedankenexperiment ersetzt. In diesem Gedankenexperiment sollen sich die Schüler*innen vorstellen, Kopfhörer und eine Wollmütze zu tragen, welche beim Gehen aneinander reiben (s. Abb. 18). Anhand der triboelektrischen Reihe sollen sie entscheiden, welchen Kunststoff sie zur Isolation der Kopfhörer verwenden würden. Durch die Änderung der Aufgabenstellung muss das zuvor erarbeitete Wissen somit ausschließlich auf eine reale Anwendungssituation übertragen und der Nutzen der triboelektrischen Reihe nicht mehr eigenständig hergeleitet werden. Dies sollte den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe erheblich senken, sodass es für zukünftige Gruppen des Schülerlabors möglich sein sollte, die Aufgabe ohne oder mit geringen Hilfestellungen der Betreuer*innen durchzuführen.



Gedankenexperiment:

Stell dir vor, es ist Winter und du trägst Kopfhörer sowie eine Wollmütze, die an den Kopfhörern reibt. Angenommen, du könntest selbst entscheiden, mit welchem Material deine Kopfhörer isoliert werden, für welches Material würdest du dich entscheiden? Begründe deine Entscheidung und nimm dabei Bezug auf die triboelektrische Reihe.

Abb. 18: A3.8 aus der überarbeiteten Version des Forscherhefts (Anhang E) [1].

Zu Station 4:

Da es bei der Lautstärkemessung von Station 4 (V4.5) mehrfach zu unerwünschten Ergebnissen kam, wurde das Experiment nochmals durchgeführt und verbessert. Anstelle eines Tons einer einzelnen Frequenz wird nun das Geräusch eines Staubsaugers³³ vom Smartphone abgespielt. Dies sorgt einerseits für eine stärkere Alltagsnähe und verhindert gleichzeitig das Auftreten starker Resonanzphänomene. Zudem sind die Ergebnisse bei der Messung der Staubsaugergeräusche wesentlich eindeutiger, sodass eine Differenz von etwa 10 dB zwischen PU-Schaum und den anderen Materialien beobachtet werden kann.

6.3. Weitere Anpassungsmöglichkeiten zur Optimierung des Schülerlabors

Neben den bereits vorgenommenen Anpassungen gibt es selbstverständlich weitere mögliche Änderungen, durch welche das Schülerlabor eventuell verbessert werden könnte. Insbesondere ist es möglich, die Selbstständigkeit der Schüler*innen durch zusätzliche Hilfsmittel weiter zu erhöhen. Für die detaillierte Beschreibung des Slinkys in Aufgabe A4.1 könnte die Selbstständigkeit beispielsweise durch ein Slow-Motion-Video erhöht werden, welches bei Problemen der exakten Beschreibung herangezogen werden kann.

Da in der Einstiegsphase festgestellt werden konnte, dass die meisten Schüler*innen ausschließlich PET aus dem Alltag kennen, könnte die hohe Anzahl der untersuchten Kunststoffe zudem zunächst erschlagend auf die Schüler*innen gewirkt haben. Durch die Betrachtung einer reduzierten Anzahl an Kunststoffen ist es somit eventuell möglich, mehr Kapazitäten für andere Aspekte des Schülerlabors zu schaffen und dafür Sorge zu tragen, dass sich die Schüler*innen die Abkürzungen der behandelten Kunststoffsorten auch langfristiger behalten können. So wäre es beispielsweise kein großer Verlust, einen der Kunststoffe PE und PP wegzulassen, da diese ohnehin sehr ähnliche physikalische Eigenschaften aufweisen und ausschließlich in der Dichtestation vorkommen.

Überdies wäre es für die Schüler*innen sicherlich interessant, die Wärmeleitfähigkeit ebenfalls im Rahmen des Schülerlabors untersuchen zu können. Insbesondere der Vergleich von Styropor und PU-Schaum wäre hierbei spannend, da beide für die Wärmeisolation genutzt werden. Möchte man die Wärmeleitfähigkeit in Form einer weiteren Station in das Schülerlabor miteinbeziehen, müsste man jedoch entweder eine der anderen Stationen streichen oder aber eine längere Dauer für das Schülerlabor ansetzen. Das

³³ <https://www.youtube.com/watch?v=CfJ6xSBC8fU> [05.12.2022].

Erstellen einer fünften Station würde hingegen den Vorteil bieten, dass die Schüler*innen auf mehr Stationen aufgeteilt werden. Hierdurch würden die Gruppen an den einzelnen Stationen kleiner werden und die Schüler*innen hätten die Möglichkeit, sich noch intensiver mit den Themen auseinanderzusetzen.

Bei all diesen Vorschlägen handelt es sich ausschließlich um weitere Ideen, welche mir bei der Auswertung der Durchführungen kamen. Um festzustellen, ob diese einen tatsächlichen Mehrwert für das Schülerlabor haben, bedarf es allerdings mehr Durchführungen des Schülerlabors sowie sich daraus ergebende weitere Erfahrungen.

7. Fazit

Im Rahmen der wissenschaftlichen Hausarbeit *Entwicklung eines Schülerlabors zum Thema Plastik* wurde ein Schülerlabor für die E-Phase entwickelt, welches Schüler*innen die Möglichkeit gibt, verschiedene physikalische Eigenschaften von Kunststoffen zu untersuchen und gleichzeitig daraus resultierende Einsatzgebiete kennenzulernen. Zeitgleich werden die Inhalte der Sekundarstufe I wiederholt und in Bezug auf Kunststoffe vertiefend betrachtet.

Durch die Erprobung des entwickelten Schülerlabors konnte gezeigt werden, dass die Schüler*innen das Gefühl hatten, im Schülerlabor Neues über Kunststoffe und deren Einsatzgebiete gelernt zu haben, während sie gleichzeitig Spaß an der Arbeit im Schülerlabor hatten. Zudem stellte sich heraus, dass das Leistungsniveau für die Durchführung in der E-Phase gut geeignet ist. Da im Schülerlabor Wissen aus verschiedenen Themengebieten der Sekundarstufe I wiederholt wird, konnte zusätzlich festgestellt werden, dass das Schülerlabor insbesondere dazu geeignet ist, Defizite der Schüler*innen in den einzelnen Themenbereichen aufzuzeigen. Durch den Besuch des Schülerlabors erhält die Lehrperson des Kurses somit zeitgleich einen Überblick über den Wissensstand der Schüler*innen, was für die Gestaltung des weiteren Unterrichts genutzt werden kann.

In Bezug auf die Nachhaltigkeit bietet das Schülerlabor hingegen keinen starken Wissenszuwachs. Stattdessen zeigt das Schülerlabor den Schüler*innen Eigenschaften auf, welche Kunststoffe in gewissen Bereichen nahezu unentbehrlich machen. Auch wenn die Nachhaltigkeit hierbei nicht explizit angesprochen wird, spielt dieses Wissen insbesondere bei der Suche nach Alternativen eine entscheidende Rolle und bildet somit einen essenziellen Bestandteil einer umfangreichen Wissensbasis zum Thema Kunststoffe. Diese Wissensbasis wird im Schülerlabor zum Thema Plastik ausgebaut, wodurch das Schülerlabor nicht nur physikalisches Wissen vermittelt, sondern gleichzeitig die Meinungsbildung der Schüler*innen zu einem wichtigen gesellschaftlichen Thema fördert.

8. Quellen

8.1. Literaturverzeichnis

- Atkins, P. & Beran, J. (1996). *Chemie – einfach alles*. Weinheim: VCH.
- Baar, R & Schönknecht, G. (2018). *Außerschulische Lernorte: didaktische und methodische Grundlagen*. Weinheim: Beltz.
- Blume, R. & Wiechoczek, D. (2004a). *Versuch: Umschmelzen von Kunststoffen*. <https://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/a-v-ku01.htm> [09.10.2022].
- Blume, R. & Wiechoczek, D. (2004b). *Versuch: Schmelzverhalten von Kunststoffen*. <https://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/a-v-kst8.htm> [09.10.2022].
- Blume, R. & Wiechoczek, D. (2005). *Wärmeleitfähigkeit*. https://www.chemieunterricht.de/dc2/grundsch/metalle/metal_08.htm [10.10.2022].
- Brückner, H. J., Blahnik, V. & Teubner, U. (2020). Maximale Bildqualität aus Minikameras - Smartphonekameras, Teil 1: Kameraoptik. *Physik in unserer Zeit*, 51, 236-243.
- Buser, A., Michels, R. & Baumbach, P. (2018). Brillengläser eine Übersicht. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 235, 223-238.
- Degen, K. (2018). *Experimente zur Elektrostatik – Blitze selber machen!* https://www.keinsteins-kiste.ch/experimente-zur-elektrostatik-blitze-selber-machen/#2_Der_8222furchtsame8220_Kunststoffstab [10.10.2022].
- Degen, K. (2020). *Kunststoffe im Alltag: Plastik überall! – Ein 1x1 der Polymere*. https://www.keinsteins-kiste.ch/kunststoffe-im-alltag-plastik-ueberall-ein-1x1-der-polymere/#Welche_Kunststoffe_begegnen_uns_im_Alltag [06.10.2022].
- Demtröder, W. (2018). *Experimentalphysik 1*. Berlin: Springer.
- Euler, M. & Schüttler, T. (2020). Schülerlabore. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer, *Physikdidaktik - Methoden und Inhalte* (S. 127-166). Berlin: Springer.
- Eyerer, P. (2012). Einführung in Polymer Engineering. In P. Elsner, P. Eyerer. & T. Hirth, *Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendung* (S. 1–114). Heidelberg: Springer.
- Girwidz, R. (2020a). Experimente im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer, *Physikdidaktik – Grundlagen* (S. 263-292). Berlin: Springer.
- Girwidz, R. (2020b). Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer, *Physikdidaktik -Grundlagen* (S. 293-336). Berlin: Springer.
- Girwidz, R. (2020c). Multimedia und digitale Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer, *Physikdidaktik -Grundlagen* (S. 457-528). Berlin: Springer.

- Götz, R., Farwig, P., Hagner, R., Keller, E., Machold, A., Mendel, E., Walz, A. & ter Wolbeek, A. (1992). *Handbuch des Physikunterrichts Sekundarbereich I - Band 5: Elektrizitätslehre I*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Greulich, W. (1998). *Lexikon der Physik – Aa bis De*. Heidelberg: Spektrum.
- Greulich, W. (1999a). *Lexikon der Physik – De bis Gy*. Heidelberg: Spektrum.
- Greulich, W. (1999b). *Lexikon der Physik – Ha bis Mh*. Heidelberg: Spektrum.
- Greulich, W. (2000a). *Lexikon der Physik – Mi bis Sb*. Heidelberg: Spektrum.
- Greulich, W. (2000b). *Lexikon der Physik – Sc bis Zz*. Heidelberg: Spektrum.
- Grottemeyer, B. & Herges, C. (2016). *Unterrichtsmaterial – Experimente für pfiffige Forscher*. Frankfurt am Main: Fonds der Chemischen Industrie.
- Hammer, J. (1982). *Plaste und Elaste – Ein deutsch-deutsches Wörterbuch*. Berlin: Haude & Spener.
- Inone-Kauffmann, E. (2012). Polymilchsäure (PLA). In P. Elsner, P. Eyerer. & T. Hirth, *Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendung* (S. 475–503). Heidelberg: Springer.
- Kasarova, S., Sultanova, N., Ivanov, C. & Nikolov, I. (2007). Analysis oft the dispersion of optical plastic materials. *Optical Materials*, 29, 1481-1490.
- Kauertz, B., Döhner, A. & Detzel, A. (2010). *Ökobilanz von Getränkeverpackungen in Österreich Sachstand 2010*. Heidelberg: Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- Kircher, E. & Girwidz, R. (2020). Methoden im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer, *Physikdidaktik - Grundlagen* (S. 199-262). Berlin: Springer.
- Kramm, J. & Haider, T. (2020). Bioplastik und konventionelles Plastik im Vergleich – Keine echte Alternative. *Politische Ökologie*, 161, 69-74.
- Kuhn, J. & Vogt, P. (2019). Smartphone und Tablet-PC als mobiles Mini-Labor. In J. Kuhn & P. Vogt, *Physik ganz smart: Die Gesetze der Welt mit dem Smartphone entdecken* (S. 1-8). Berlin: Springer.
- Kunter, M. & Trautwein, U. (2013). *Psychologie des Unterrichts*. Paderborn: Schöningh.
- Lingle, R. (2018). *PHA bioplastics a ‘tunable‘ solution for convenience food packaging*. <https://www.plasticstoday.com/packaging/pha-bioplastics-tunable-solution-convenience-food-packaging> [22.10.2022].

- Lingle, R. (2019). *What's new in PHA bioplastics: An update with Cambridge Consultants*. <https://www.plasticstoday.com/packaging/whats-new-pha-bioplastics-update-cambridge-consultants> [22.10.2022].
- Möser, M. & Kropp, W. (2010). *Körperschall: Physikalische Grundlagen und technische Anwendungen*. Berlin: Springer.
- Möser, M. (2012). *Technische Akustik*. Berlin: Springer.
- Molz, A., Kuhn, J. & Wilhelm, T. (2016). Das Unsichtbare sichtbar machen: Smartphones als Wärmebildkamera. *Physik in unserer Zeit*, 47, 255-236.
- Németh, E. (2003). *Triboelektrische Aufladung von Kunststoffen*. Freiberg: Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- Pospiech, G. & Siemens, F. (2005). *Unterricht Physik – Experimente, Medien, Modelle – Band 12: Akustik*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Roth, S. & Stahl, A. (2018). *Elektrizität und Magnetismus: Experimentalphysik – anschaulich erklärt*. Berlin: Springer.
- Roth, S. & Stahl, A. (2019). *Optik: Experimentalphysik – anschaulich erklärt*. Berlin: Springer.
- Saechtling, H., Zebrowski, W. & Pabst, F. (1967). *Kunststoff-Taschenbuch*. München: Hanser.
- Sattlegger, L., Haider, T., Völker, C., Kerber, H., Kram, J., Zimmerman, L. & Wurm, F. (2020). Wasser in Plastik, Plastik in Wasser – Die PET-Mineralwasserflasche. *Chemie in unserer Zeit*, 54, 14-20.
- Schipper, R & Bäumer, S. (2006). Kunststoffoptik – Neue Perspektiven für Optik großer Stückzahlen. *Optik & Photonik*, 2, 46-49.
- Schonert, M., Motz, G., Meckel, H., Detzel, A., Giegrich, J., Ostermayer, A. & Schorb, A. (2002). *Ökobilanz für Getränkeverpackungen II / Phase 2*. Berlin: Umweltbundesamt.
- Schüle, H. (2012). Polyacrylate. In P. Elsner, P. Eyerer, & T. Hirth, *Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendung* (S. 475–503). Heidelberg: Springer.
- Steger, D. (2004). *Freihandversuche aus Elektrizitätslehre und Magnetismus*. Graz: Karl-Franzens-Universität Graz.
- Stolze, M. (2010). *Verschriftlichung des Experimentalvortrages zum Thema Kunststoffe - Eigenschaften und Darstellungen*. Marburg: Philipps Universität Marburg.
- Vacano, B., Mangold, H. & Seitz, C. (2021). Die Zeit ist reif – Kunststoffe im Kreislauf. *Chemie in unserer Zeit*, 55, 374-385.

- Weißbach, W. (2012). *Werkstoffkunde – Strukturen, Eigenschaften, Prüfung*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.

8.2. Internetverzeichnis

- Algodoo. <http://www.algodoo.com/what-is-it/> [17.10.2022].
- Carl Roth GmbH & Co. KG (2022). *Freiwillige Sicherheitsinformation in Anlehnung an das Sicherheitsdatenblattformat gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) Wasser, Nuklease-frei, autoklaviert, DEPC-behandeltes Wasser, steril, ready-to-use*. <https://www.carlroth.com/medias/SDB-T143-DE-DE.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMzUwMDB8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oZjMvaGYyLzkwNjY3MTQ0NjQyODYucGRmfGQ3M2NiMTQ5YjAyYWI1NDMyMDAwZTRlODQ5ZWY4M2Q2YzM4YmFmZDhlOTll-Mjc3MmQzMGIjYjdiY2I5M2M3YmE> [05.12.2022]
- Carl von Ossietzky Universität Oldenburg (2022). *Dichte – Teil II*. <https://uol.de/chemiedidaktik/arbeitsgebiete-und-projekte/ehemalige-projekte/chemoekol/kontext-wattenmeer/labortag-material/dichte-teil-ii> [08.10.2022].
- CKW AG. *Physik – Elektrostatik – Lösungen*. https://www.ckw.ch/Resources/Persistent/03286f1e801c3dbbf869921c06877b7bcc99c5db/Dossier_Elektrostatik_Sek-I_L%C3%B6sungen.pdf [10.10.2022].
- Cornelsen Verlag GmbH. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Eigenschaft> [29.10.2022].
- GeoGebra. <https://www.geogebra.org/about> [17.10.2022].
- Hessisches Kultusministerium (2016a). *Bildungsstandards und Inhaltsfelder – Das neue Kerncurriculum für Hessen, Sekundarstufe I - Gymnasium – Physik*. https://kultusministerium.hessen.de/sites/kultusministerium.hessen.de/files/2021-07/kerncurriculum_physik_gymnasium.pdf [06.10.2022].
- Hessisches Kultusministerium (2016b). *Kerncurriculum Gymnasiale Oberstufe – Physik*. <https://kultusministerium.hessen.de/sites/kultusministerium.hessen.de/files/2021-07/kcgo-ph.pdf> [10.10.2022].
- Hessisches Kultusministerium (2021). *Lehrplan Physik – Gymnasialer Bildungsgang – Klasse 7 bis 13*. <https://kultusministerium.hessen.de/sites/kultusministerium.hessen.de/files/2021-06/g9-physik.pdf> [06.10.2022].

- Joachim Herz Stiftung. *Selbstbau eines Überlaufgefäßes*. <https://www.leifiphysik.de/mechanik/masse-volumen-und-dichte/versuche/selbstbau-eines-ueberlaufgefasses> [09.10.2022].
- Joachim Herz Stiftung. *Kapazität des Plattenkondensators*. <https://www.leifiphysik.de/elektrizitaetslehre/kondensator-kapazitaet/versuche/kapazitaet-des-plattenkondensators> [10.10.2022].
- Keyence (2017). *Handbuch der Elektrostatik*. <https://www.hpv-ev.org/upload/handbuch-elektrostatik.pdf> [28.10.2022].
- LernortLabor. *Schülerlaboratlas*. <https://www.schuelerlabor-atlas.de/> [16.10.2022].
- Kultusministerkonferenz (2019). *Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1994/1994_09_09-Sicherheit-im-Unterricht.pdf [10.10.2022].
- Kultusministerkonferenz (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die allgemeine Hochschulreife*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf [11.10.2022].
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (2021). *JIM-Studie 2021 – Jugend, Information, Medien – Basisuntersuchung zum Medienumgang 12- bis 19-Jähriger*. https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/JIM/2021/JIM-Studie_2021_barrierefrei.pdf [05.12.2022].
- Reichelt Chemietechnik. *Glasarten: Zusammensetzung und Anwendung*. <https://www.rct-online.de/magazin/glasarten-zusammensetzung-anwendung/> [08.11.2022].
- RWTH Aachen. <https://phyphox.org/de/home-de/> [17.10.2022].
- Seilnacht, T. <https://www.seilnacht.com/versuche/dichteb.html> [09.10.2022].
- Ultimaker (2017). *Technisches Datenblatt PLA*. <https://docs.rs-online.com/f1a8/0900766b81698003.pdf> [10.11.2022].
- o.A. *Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen*. <https://michaelseb0000.tripod.com/home/referate/waermeleifaehigkeit.pdf> [21.07.2022].

8.3. Videoquellen, Simulationsprogramme und Musik

- Aqua (1997). *Barbie Girl*. Kopenhagen: Universal Music (Denmark).
- Kohl, M. (2021). *Reflexion von Licht an Glas, Spiegel und Kunststoff, Optik Physik Experiment*. <https://www.youtube.com/watch?v=D006NNsMdbU> [09.10.2022].
- Lulanko (2014). <https://www.youtube.com/watch?v=CfJ6xSBC8fU> [05.12.2022].
- Rountinfar, A., Chang, S., Malley, C. & Veillette, M.. *Geometrische Optik*. https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_de.html [09.10.2022].
- Rouinfar, A. Adare, A., Greenberg, J., Malley, C. Olson, J. & Randall, E.. *Kapazität Labor: Einstieg*. https://phet.colorado.edu/sims/html/capacitor-lab-basics/latest/capacitor-lab-basics_de.html [10.10.2022].

8.4. Bildquellenverzeichnis

- [1] Eigene Abbildung.
- [2] Girwidz, R. (2020a). Experimente im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer, *Physikdidaktik – Grundlagen* (S. 263-292). Berlin: Springer.
- [3] Eyerer, P. (2012). Einführung in Polymer Engineering. In P. Elsner, P. Eyerer. & T. Hirth, *Kunststoffe – Eigenschaften und Anwendung* (S. 1–114). Heidelberg: Springer.
- [4] Schlenk, A. & Pirkelmann, B. (2008). *Kunststoffe - Neuere Entwicklungen*. http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/kunststoffe1/archiv/neuere_entwickl.htm [21.10.2022].
- [5] Brückner, H. J., Blahnik, V. & Teubner, U. (2020). Maximale Bildqualität aus Minikameras - Smartphonekameras, Teil 1: Kameraoptik. *Physik in unserer Zeit*, 51, 236-243.
- [6] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/44/Recycle001.svg/1024px-Recycle001.svg.png> [09.11.2022].
- [7] https://images.clipartlogo.com/files/images/44/440048/pen-clip-art_f.jpg [09.11.2022].
- [8] <https://www.istockphoto.com/de/grafiken/auge> [09.11.2022].
- [9] https://media.istockphoto.com/vectors/search-magnifying-glass-icon-symbol-vector-id1248543600?k=20&m=1248543600&s=170667a&w=0&h=sSK-h0EYkGh-Lxf2gsQWYY_YPR3TCX30XAmiz3K6TBRM= [09.11.2022].

- [10] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQqNXViEL-AV0rL5qbwYJTV3E0OVqmnitBgBg&usqp=CAU> [09.11.2022].
- [11] <https://image.shutterstock.com/image-vector/exclamation-mark-isolated-on-white-260nw-1916370281.jpg> [09.11.2022].
- [12] Greulich, W. (2000a). Lexikon der Physik – Mi bis Sb. Heidelberg: Spektrum.
- [13] <https://www.codixx.de/home/wissensecke/polarisation> [12.11.2022].

Anhang A

(Version 1 des Forscherhefts mit Lösung)

Goethe-Schülerlabor Physik

Plastik

Lösungsheft für Betreuer*innen und Lehrer*innen



Inhalt

Einstieg: Kunststoffübersicht	3
Station 1: Plastik und die Umwelt.....	4
Station 2: Plastik in der Optik	9
Station 3: Leitfähigkeit von Plastik.....	16
Station 4: Plastik als Schallschutz	22

Bedeutung der Symbole



Wissen aus der Schule wird wiederholt.



Die Aufgabe soll schriftlich bearbeitet werden.



Es muss ein Text gelesen werden.



Es handelt sich um ein Experiment.



Es muss mit dem Laptop oder dem Smartphone gearbeitet werden.



Macht auf einen Hinweis aufmerksam.

Einstieg: Kunststoffübersicht

Kunststoff, im alltäglichen Sprachgebrauch in der Regel als Plastik bezeichnet, ist aus unserem heutigen Leben kaum noch wegzudenken. Wir verwenden ihn in der Lebensmittelindustrie, für Spielzeuge, in der Technik und in vielen weiteren Bereichen des Lebens.

Hierbei ist jedoch nicht Plastik gleich Plastik. Es gibt viele verschiedene Kunststoffe, welche je nach Eigenschaft in unterschiedlichen Gebieten Anwendung finden. Im Folgenden findest du eine kurze Übersicht über die Plastiksarten, welche dir im Laufe des Schülerlabors begegnen werden:

Kunststoff (Abk.)	Vollständige Bezeichnung	Biologisch abbaubar	Beispiele für Anwendungen
PET	Polyethylenterephthalat	Nein	Getränkeflaschen, Textilfasern, Lebensmittelverpackung, Reinigungsflaschen
PE	Polyethylen	Nein	Gefrierbeutel, Kosmetikbehälter, Medikamentendosen
PP	Polypropylen	Nein	Küchengefäße, Gefrierdosen, CD-Hüllen, Mehrfachsteckdosen
PS	Polystyrol	Nein	Plastikbesteck, Lebensmittelverpackung, Wärmedämmung, Spielzeug
PMMA	Polymethylmethacrylat	Nein	Alternative zu Glas (Plexi-Glas)
PU	Polyurethan	Nein	Schaumstoff, Wärmedämmung, Putzschwamm
PLA	Poly lactide / Polymilchsäure	Ja	Plastikbesteck, Lebensmittelverpackungen, Kaffeedeckel

Station 1: Plastik und die Umwelt

Obwohl herkömmliche Kunststoffe nicht biologisch abbaubar sind und dadurch in Bezug auf Umweltverschmutzung hoch in der Kritik stehen, werden sie weiterhin in großen Mengen produziert und verwendet. Ein Grund dafür ist ihre geringe Dichte, welche zur Folge hat, dass Kunststoffe im Vergleich zu alternativen Materialien wie beispielsweise Glas wesentlich weniger wiegen.

Im Folgenden soll in dieser Station deshalb die *Dichte* verschiedener Kunststoffe sowie einiger Kunststoffalternativen genauer untersucht werden.

Schwimmversuch

Anhand der Schwimmfähigkeit eines Objekts kann festgestellt werden, ob die Dichte des Objekts größer oder kleiner als die Dichte der entsprechenden Flüssigkeit ist. Somit kann eine erste grobe Abschätzung über die Größenordnung der Dichte eines Objekts gemacht werden.

W1.1



Vervollständige anhand deines Vorwissens, die folgenden Sätze:

Ist die Dichte eines Objekts größer als die Dichte der Flüssigkeit, geht es unter.

Ist die Dichte eines Objekts kleiner als die Dichte der Flüssigkeit, schwimmt es.

Wasser hat eine Dichte von $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ und eine gesättigte Salzlösung hat eine Dichte von $1,18 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

A1.1



Stelle Vermutungen an, welche der bereitstehenden Materialien auf Leitungswasser bzw. auf der Salzlösung schwimmen.

Material	Schwimmt...		
PET	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PE	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PP	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PS	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PMMA	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PLA	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
Glas	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
Aluminium	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
Holz	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser

V1.1



Überprüfe deine Vermutungen aus der vorherigen Aufgabe. Tunke die Materialien dafür mit dem Glasstab leicht unter die Wasseroberfläche.



Notiere deine Beobachtung:

Auf Leitungswasser schwimmen PE, PP, und Holz.

Auf der gesättigten Salzlösung schwimmen PE, PP, Holz, PS und PMMA.

Überlaufversuch



Hinweis: Teilt die zu untersuchenden Objekte für den folgenden Versuch untereinander auf und tauscht nach dem Versuch eure Ergebnisse aus.

Um die Dichten der verschiedenen Materialien noch besser vergleichen zu können, soll in diesem Versuch die exakte Dichte der Materialien bestimmt werden.

W1.2



Wie ist die Dichte definiert?

$$\rho = \frac{m}{V}$$

→ Um die Dichte eines Objekts zu bestimmen, benötigt man somit die Masse und das Volumen des Materials.

Im Folgenden sollen die Dichten von PMMA, PLA, Glas und Aluminium bestimmt werden.



Bestimme die Massen, der bereitstehenden Objekte und trage sie in die Tabelle auf der nächsten Seite ein.

V1.2



Das Volumen der bereitstehenden Objekte kann bestimmt werden, indem gemessen wird, wie viel Volumen an Wasser sie verdrängen.



Gehe für das Experiment wie folgt vor:

1. Wiege Becherglas 1. Becherglas 1 wiegt _____.
2. Platziere Becherglas 1 unterhalb der Überlaufkapillare von Becherglas 2.
3. Fülle mit Becherglas 3 Becherglas 2 so hoch mit Leitungswasser auf, dass gerade so etwas Wasser aus der Überlaufkapillare tropft.
4. Warte, bis kein Wasser mehr aus der Überlaufkapillare tropft und gieße das übergelaufene Wasser aus Becherglas 1 zurück in Becherglas 3.
5. Stelle Becherglas 1 unter die Überlaufkapillare zurück.
6. Gib das Objekt, dessen Volumen du bestimmen willst, in Becherglas 2 und warte, bis kein Wasser mehr aus der Überlaufkapillare tropft.
7. Wiege Becherglas 1 mit dem übergelaufenen Wasser. Ziehe von der ermittelten Masse die Masse des Becherglases ohne Wasser ab und notiere die Masse des verdrängten Wassers in der untenstehenden Tabelle.

Objekt	Masse	Masse verdrängtes Wasser +Glas 1	Masse verdrängtes Wasser	Volumen verdrängtes Wasser	Dichte
PMMA-Quader					
PLA-Scheibe					
Glas-Kugel					
Aluminium					

Vervollständige die restliche Tabelle. (Hinweis: Dichte von Wasser = $1 \frac{g}{cm^3}$)

A1.2



Vergleiche deine Ergebnisse mit den Ergebnissen aus dem Schwimmversuch und mit den Dichten auf dem Lösungskärtchen. Was könnten Gründe für mögliche Abweichungen sein?

*Mögliche Gründe, die von den Schüler*innen genannt werden können sind:*

- Ungenauigkeiten bei der Menge des übergelaufenen Wassers (vorher nicht richtig gefüllt oder Wasser ist in der Überlaufkapillare hängen geblieben)
- Kleiner Hohlraum im Aluminium-Objekt
- Kleine Hohlräume in der PLA-Scheibe, welche durch den 3D-Druck entstehen

PET vs. Glas**L1.1**

Lies den Text „PET- vs. Glas-Flache“ aufmerksam durch und beantworte die untenstehenden Fragen.

PET- vs. Glas-Flasche

Plastikflaschen stehen aufgrund der Umweltverschmutzung durch Plastikabfälle schwer in der Kritik. So bilden Einwegflaschen gemeinsam mit anderen Einwegverpackungen einen Hauptbestandteil des vorhandenen Meeresmülls. Dies ist vor allem deshalb problematisch, da Plastik nur schlecht biologisch abbaubar ist, wodurch die Abfälle über viele Jahrzehnte erhalten bleiben und sich immer weiter anhäufen. Das Umweltbundesamt geht sogar davon aus, dass es über 450 Jahre dauert, bis eine PET-Flasche im Meer abgebaut wird. Zudem sorgen Umwelteinflüsse, wie Sonneneinstrahlung, der Salzgehalt im Ozean und der Angriff von mikrobiellen Lebewesen dafür, dass das Plastik in immer kleinere Bestandteile zersetzt wird, sodass es, selbst wenn es für uns nicht mehr sichtbar ist, immer noch in Form von Mikroplastik vorhanden ist. Dieses Mikroplastik wird dann von Meerestieren aufgenommen und gelangt so in den Nahrungskreislauf, wo es sowohl der Gesundheit der Tiere als auch der Gesundheit des Menschen schaden kann.

Trotz all dieser Probleme, welche Plastik in Bezug auf die Verschmutzung der Weltmeere aufwirft, lässt sich nicht eindeutig feststellen, dass Plastikflaschen im Allgemeinen eine schlechtere Ökobilanz aufweisen als Glasflaschen. So schneiden Mehrweg-Plastikflaschen in Bezug auf die Ökobilanz sogar besser ab als Glasflaschen, während Einweg-PET-Flaschen eine mit Glas-Mehrwegflaschen vergleichbare Ökobilanz aufweisen. Grund hierfür ist u.a. der Dichteunterschied von Glas und PET, welcher einen erheblichen Unterschied in Bezug auf die CO₂-Bilanz beim Transport zur Folge hat. So kann davon ausgegangen werden, dass ein durchschnittlicher LKW, welcher pro Fahrt 40.800 Stück 0,5 l Flaschen transportieren kann, im leeren Zustand ungefähr 29 l / 100 km verbraucht und 0,4 l / 100 km mehr für jede weitere Tonne an Nutzlast. Da Glas aufgrund der höheren Dichte wesentlich schwerer ist als Plastik, sorgt dies für einen erheblich höheren Treibstoffverbrauch bei Glasflaschen als bei Plastikflaschen. Zusätzlich wird für die Herstellung einer Glasflasche 142 cm³ Glas benötigt, während für die Herstellung einer PET-Flasche nur 40 cm³ PET benötigt wird. Aus diesem Grund sollte für eine gute Ökobilanz darauf geachtet werden, Glasflaschen aus der Region zu kaufen oder PET-Mehrwegflaschen zu nutzen.

A1.3



Welche Nachteile hat eine PET-Flasche gegenüber einer Glasflasche?

- *schlecht biologisch abbaubar (über 450 Jahre)*
- *Sorgt für große Mengen an Meeresmüll*
- *Zersetzen sich zunächst zu Mikroplastik, welches von Tieren aufgenommen und so in die Nahrungskette gelangen kann → Kann Gesundheitsschäden verursachen.*

A1.4



Welche Vorteile hat eine PET-Flasche gegenüber einer Glasflasche?

- *Geringere Dichte*
 - *Leichter als Glas*
 - *Beim Transport von PET-Flaschen wird weniger Treibstoff verbraucht und somit weniger CO₂ ausgestoßen*

A1.5



Im Text „PET- vs. Glasflasche“ wird behauptet, dass der Treibstoffverbrauch beim Transport von Glasflaschen erheblich höher ausfällt als bei PET-Flaschen. Schätze anhand der im Text gegebenen Daten ab, wie viel Prozent Treibstoff (und damit CO₂) beim Transport von Glasflaschen mehr als beim Transport von PET-Flaschen verbraucht wird. Nutze dafür die in der vorherigen Aufgabe bestimmten Dichte von Glas. Verwende für PET eine Dichte von 1,38 g/cm³.

Im Folgenden steht m_x für die Masse einer Flasche aus Material x und M_x für die Masse eines Transporters, welcher mit Flaschen aus dem Material x beladen ist:

$$m_{PET} = \rho_{PET} \cdot V_{PET} = 1,38 \frac{g}{cm^3} \cdot 40 cm^3 = 55,2 g$$

$$m_{Glas} = \rho_{Glas} \cdot V_{Glas} = 2,5 \frac{g}{cm^3} \cdot 142 cm^3 = 355 g$$

$$M_{PET} = 40.800 \cdot (m_{Wasser} + m_{PET}) = 40.800 \cdot (500 g + 55,2 g) \approx 22,65 t$$

$$M_{Glas} = 40.800 \cdot (m_{Wasser} + m_{Glas}) = 40.800 \cdot (500 g + 355 g) \approx 34,88 t$$

Nun wird der Treibstoffverbrauch T_x eines Lasters mit Flaschen des Materials x berechnet. Hierfür wird beispielhaft der Treibstoffverbrauch für eine Strecke von 100 km berechnet, da die Strecke keine Auswirkung auf den prozentualen Unterschied hat.

$$T_{PET} = 29 \frac{l}{100 km} \cdot 100 km + 0,4 \frac{l}{100 km \cdot 1 t} \cdot 22,65 t \approx 38,06 l$$

$$T_{Glas} = 29 \frac{l}{100 km} \cdot 100 km + 0,4 \frac{l}{100 km \cdot 1 t} \cdot 34,88 t \approx 42,95 l$$

$$\frac{T_{PET}}{T_{Glas}} \approx 0,886 = 88,6 \%$$

*Zusätzlich ist es möglich, dass die Schüler*innen auch den Rücktransport der Flaschen mit einberechnen. Hierdurch fällt der prozentuale Unterschied nochmals größer aus.*

Station 2: Plastik in der Optik

Allein vom Aussehen her sind transparente Kunststoffe häufig nicht von Glas zu unterscheiden.

V2.1



Vor dir findest du mehrere Brillengläser. Entscheide, welche der Brillengläser aus Glas und welches aus Kunststoff bestehen. Woran machst du deine Entscheidung fest?

Brillengläser aus Glas: 1&5

Brillengläser aus Kunststoff: 2,3 & 4

Mögliche Begründungen: Glas ist schwerer als Kunststoff (höhere Dichte), Glas fühlt sich kälter an als Kunststoff (Wärmeleitfähigkeit), hellerer Klang beim Klopfen auf Glas

Die Auflösung findest du auf der Rückseite des Lösungskärtchens.

Überprüfung der Reflexion- und Transmissioneigenschaft

Nun soll es um den Vergleich der Reflexions- und Transmissionseigenschaften verschiedener Kunststoffe und Glas gehen.

W2.1



Vervollständige anhand deines Vorwissens die folgenden Definitionen:

Als **Reflexion** bezeichnet man das Zurückwerfen von Strahlen oder Wellen an einer Grenzfläche.

Als **Transmission** bezeichnet den Durchgang von Strahlen oder Wellen durch ein Medium.

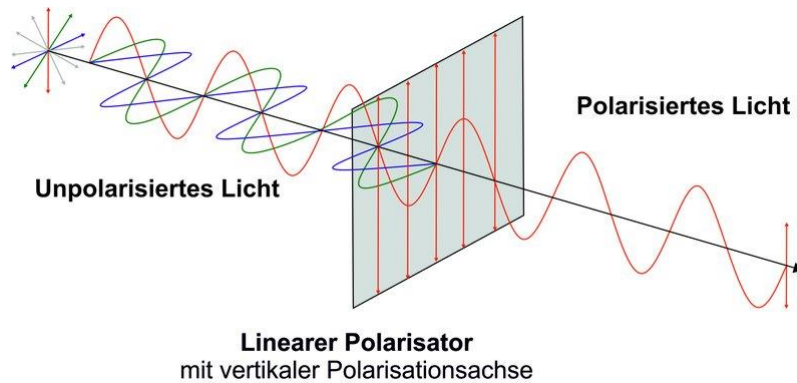
L2.1



Im folgenden Experiment wird die Polarisierung von Licht benötigt. Hierfür sollte man zunächst verstehen, was Polarisierung von Licht überhaupt bedeutet.

Basiswissen Polarisierung

Einige physikalische Phänomene in Bezug auf Licht lassen sich nur erklären, wenn man die Modellvorstellung von Licht als Welle nutzt. Betrachtet man in diesem Modell ein Lichtbündel, so besteht dieses aus vielen Wellen unterschiedlicher Ausrichtungen (siehe Abbildung nächste Seite). Mit einem Polarisationsfilter ist es möglich, alle Ausrichtungen bis auf eine abzuschirmen, sodass man anschließend Licht erhält, welches aus Wellen einer einzigen Ausrichtung besteht. Dieses Licht nennt man polarisiertes Licht.



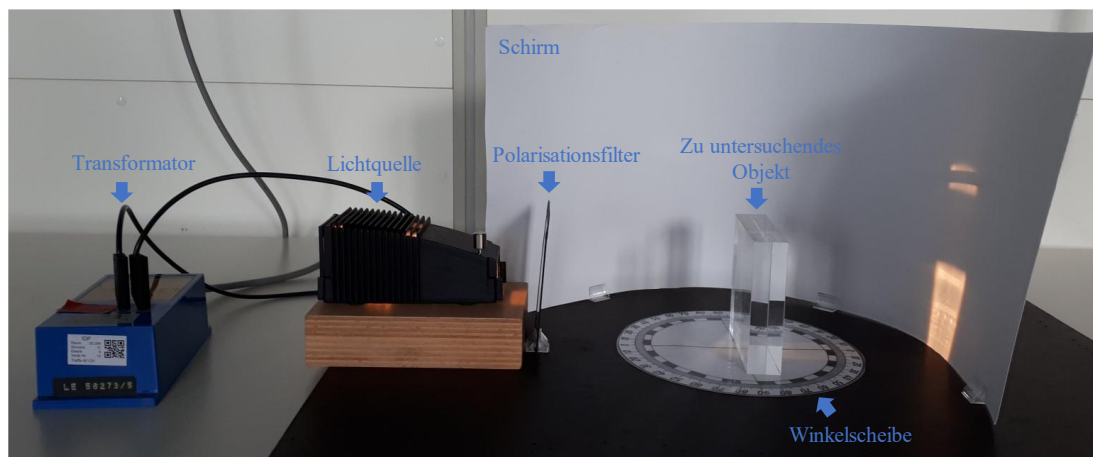
Quelle: <https://www.codixx.de/home/wissensecke/polarisation> [12.11.2022].

V2.2



Untersuche die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Reflexions- und Transmissionseigenschaften von Glas, einem Spiegel, PMMA, PS und PLA.

Positioniere dafür nacheinander die zu untersuchenden Gegenstände auf der Winkelscheibe und beobachte die Reflexion und Transmission auf dem Schirm in Abhängigkeit des Einfallswinkels.



Beantworte die folgenden Fragen:

Bei welchen der Materialien kam es zu einer gleichzeitigen Transmission und Reflexion?

A2.1



Bei Glas, PMMA und PS. Beim Spiegel und PLA ist keine Transmission zu Beobachten.

A2.2



Bei welchen Materialien könntest du in Abhängigkeit des Reflexionswinkels Unterschiede im Reflexionsverhalten beobachten? Beschreibe diese.

Beim Spiegel waren keine Unterschiede im Reflexionsverhalten zu beobachten.

Bei PMMA und Glas ist eine Änderung der Lichtintensität in Abhängigkeit des Reflexionswinkels zu beobachten.

Bei der CD-Hülle kann in Abhängigkeit des Reflexionswinkels Dispersion beobachtet werden.

Bei PLA konnte man nur einen Lichtstreifen auf der PLA-Platte erkennen, nicht aber auf dem Schirm.

A2.3



Wie heißt das Phänomen, welches du bei der CD-Hülle (PS) beobachten könntest?

Dispersion.

A2.4



Was sollte ein Kunststoff in Bezug auf die Reflexions- und Transmissionseigenschaft erfüllen, wenn er als Ersatz für Glas verwendet wird?

Er sollte Licht transmittieren und keine Dispersion aufweisen.

*HINWEIS: Auch bei Glas und PMMA kommt es zur Dispersion, allerdings nicht bei den betrachteten Dicken. Der Versuch soll zeigen, dass es bei PS schneller zu Dispersionseffekten kommt als bei PMMA und Glas, weshalb PS beispielsweise nicht als alternative für Brillenglas geeignet ist (sollte den Schüler*innen vom Betreuer als Zusatzinformation gegeben werden).*

A2.5



Entscheide anhand deiner Beobachtungen, welches der Materialien am besten als Ersatz für Glas geeignet ist und begründe deine Entscheidung kurz.

PMMA ist am besten als Ersatz für Glas geeignet, da es dieselben Transmissions- und Reflexionseigenschaften aufweist. Glas und PMMA reflektieren und transmittieren beide das Licht und weisen gleichzeitig eine Winkelabhängigkeit der Intensität des Reflektierten Lichts auf.

Brechungsindex

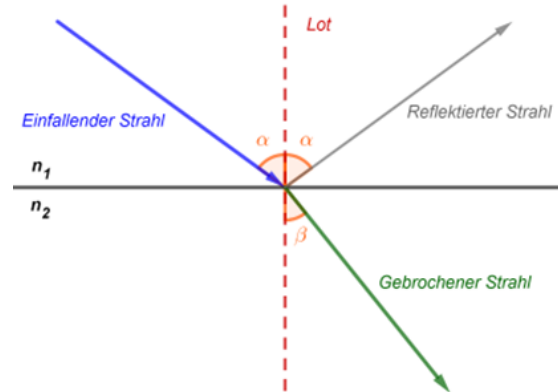
Eine weitere wichtige optische Eigenschaft ist der **Brechungsindex**. Dieser ist ein Maß für die Lichtbrechung an einer Grenzfläche. Je größer der Brechungsindex, desto stärker wird das Licht an der Oberfläche gebrochen.

Für die Brechung von Licht an einer Grenzfläche, gilt das **Brechungsgesetz**:

$$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta)$$

Luft besitzt einen Brechungsindex von ungefähr 1. Somit kann der Brechungsindex eines Materials an der Grenzfläche Luft bestimmt werden durch:

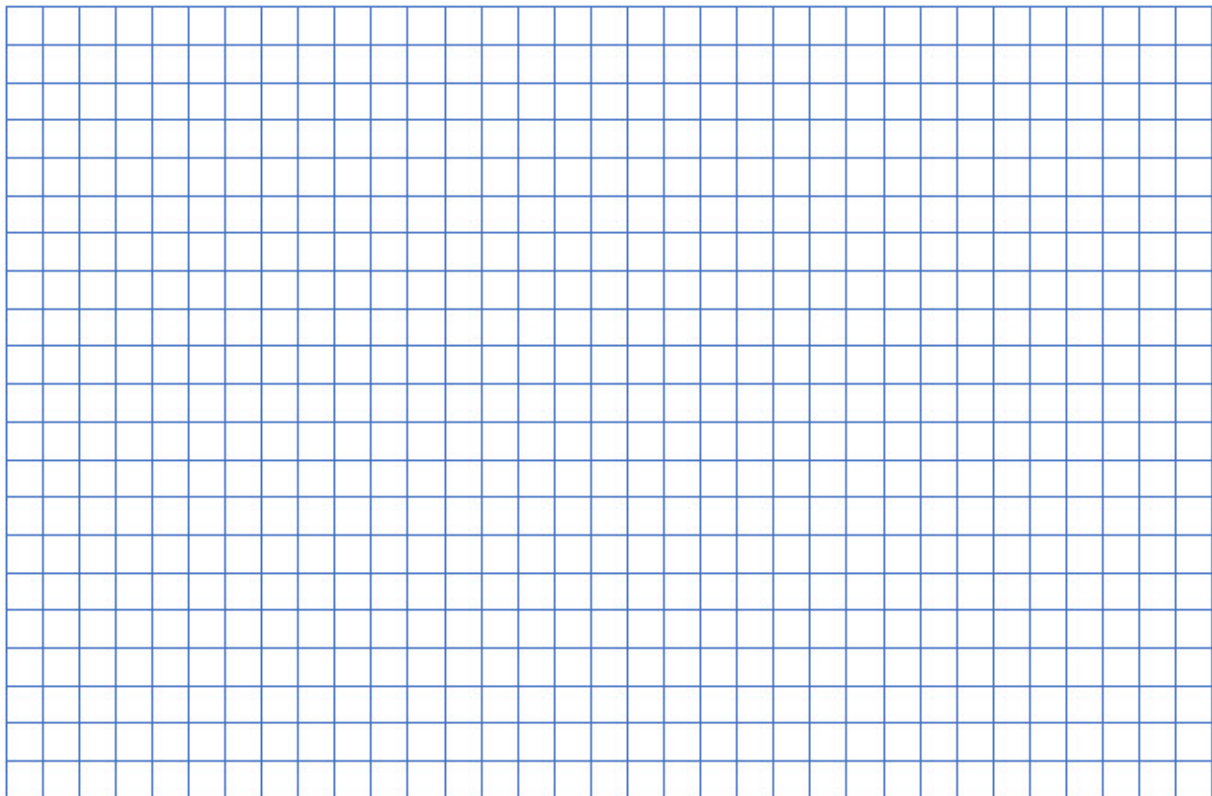
$$n = \frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)}$$



V2.3



Bestimme den Brechungsindex von PMMA und üblichem Glas.



Der Brechungsindex von PMMA ist _____. *Beide Brechungsindizes sollten*

Der Brechungsindex des Glases ist _____. *ungefähr 1,5 betragen.*

A2.6



Vergleiche den Brechungsindex von PMMA und Glas miteinander. Was stellst du fest?

Die Brechungsindizes von PMMA und üblichem Glas unterscheiden sich kaum voneinander.

Kunststofflinsen in Smartphone-Kameras

Linsen aus Kunststoff spielen unter anderem bei der Produktion von Smartphone-Kameras eine wichtige Rolle. Warum dies so ist, soll im Folgenden erarbeitet werden.

V2.4



Öffne zunächst GeoGebra und anschließend in GeoGebra die Datei „Strahlengang-Sammellinse“. Durch Bewegen von Punkt G kannst du die Größe des Gegenstands und den Abstand des Gegenstands von einer einfachen Sammellinse verändern. Beobachte welche Auswirkungen dies auf das entstehende Bild hat.

A2.7



Was kannst du beobachten, wenn du die Größe des Gegenstands veränderst?

Wird der Gegenstand vergrößert, vergrößert sich auch das Bild und wird schnell nicht mehr vom ganzen Smartphone-Sensor erfasst.

A2.8



Was kannst du beobachten, wenn du den Abstand des Gegenstands zur Linse veränderst?

Durch Vergrößerung des Abstands nähert sich das Bild der Linse an, durch Verkleinerung des Abstands erhöht sich der Abstand vom Bild zur Linse. In beiden Fällen trifft das Bild nicht mehr auf dem Sensor auf.

Ein Smartphone hat eine Dicke von 5 bis 9 mm. Das heißt, der Sensor, welcher das entstehende Bild verarbeitet, darf nicht weiter als 9 mm von der Linse entfernt sein. Zudem sind die Linsen in einem Smartphone fest verbaut und können im Gegensatz zu den Linsen einer Kamera nicht nach vorne und hinten bewegt werden.

A2.9



Was muss für das Bild gelten, damit wir es mit der Smartphone-Kamera scharf sehen können?

Das Bild muss auf Höhe des Sensors entstehen.

A2.10



Überlege anhand deiner vorherigen Beobachtungen, warum eine einfache Sammellinse nicht für eine Smartphone-Kamera geeignet ist.

Bei einer Sammellinse gibt es nur eine Höhe, auf welcher das Bild wirklich scharf ist. Da die Linse im inneren der Smartphone-Kamera nicht verstellt werden kann, ist eine einfache Sammellinse somit nicht als Linse für eine Smartphone-Kamera geeignet.

A2.11



Was muss eine Linse für eine Smartphone-Kamera, aufgrund der geringen Breite des Smartphones erfüllen?

Die Linse einer Smartphone-Kamera muss so beschaffen sein, dass die Bildweite weitgehend unabhängig von der Gegenstandsweite ist. Zudem muss das Licht auch unter großen Einfallswinkeln (Betrachtung großer Gegenstände oder Weitwinkel) auf dem Sensor aufkommen können.

Damit mit Smartphones sowohl in der Nähe als auch in der Weite scharfe Bilder aufgenommen werden, benötigt man sogenannte **asphärische Linsen**.

Sphärische Linsen sind Linsen, die überall den gleichen Krümmungsgrad aufweisen. So ist eine einfache Sammellinse z.B. eine sphärische Linse.

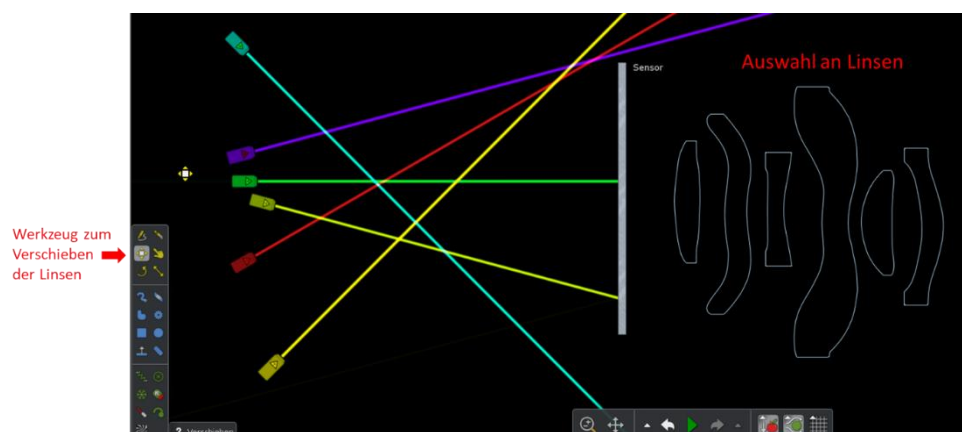
Asphärische Linsen hingegen weisen viele verschiedene Krümmungsgrade auf. Wegen ihrer komplexen Form ist es sehr aufwendig, asphärische Linsen aus Glas herzustellen. Stattdessen verwendet man für diese Kunststoff, welcher geschmolzen und in die entsprechende Form gegossen werden kann.

V2.5



Öffne die Algodoo-Datei „Smartphone-Kamera-Bauen“. In dieser siehst du verschiedene asphärische Linsen, welche Teil eines Smartphone-Objektivs sind.

Versuche die Linsen so anzuordnen, dass alle Laserstrahlen auf den Sensor treffen.



V2.6



Öffne nun die Algodoo-Datei „*Smartphone-Kamera-Lösung*“. In dieser findest du die Musterlösung eines Smartphone-Objektivs. Bewege und drehe die Laser, um herauszufinden, inwieweit die Strahlen noch auf den Sensor treffen. Was fällt dir auf?

*Es könnte von den Schüler*innen beobachtet werden:*

- *Laserstrahlen derselben Farbe und desselben Winkels treffen an derselben Stelle des Sensors auf.*
- *Ab einem bestimmten Winkel treffen die Strahlen nicht mehr auf dem Sensor auf.*

Bewegen der Laser →
Drehen der Laser →



Station 3: Leitfähigkeit von Plastik

Elektrische Leiter und Nichtleiter

V3.1



Baue aus der 4,5 V-Batterie, den Krokodilklemmen und dem Lämpchen einen Stromkreis und überprüfe die Leitfähigkeit der Materialien in der Tabelle.

W3.1

Material	leitfähig	nicht leitfähig
Edelstahl	X	
Aluminium	X	
Wolle		X
PS		X
PET		X
PLA		X
Glas		X



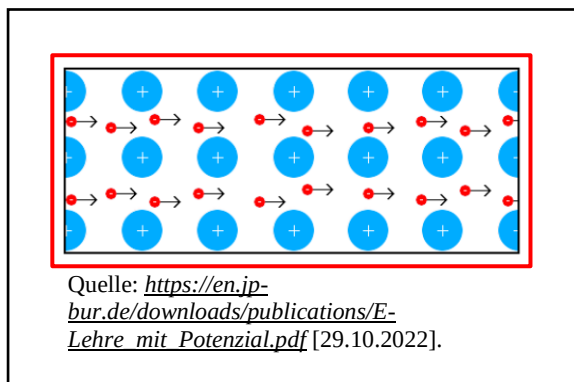
Erkläre, warum einige der Materialien leitfähig sind und andere nicht.

Damit ein Material elektrischen Strom leitet, müssen sich die Elektronen in diesem frei bewegen können. Dies ist bei Edelstahl und Aluminium der Fall. Bei den anderen Materialien hingegen können die Elektronen die Hülle des jeweiligen Atoms, in welchem sie sich befinden, nicht verlassen.

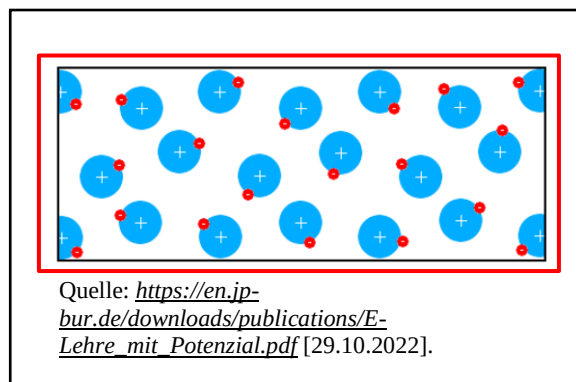
W3.2



Zeichne ein Modell vom Inneren eines Leiters und eines Nichtleiters.



Leiter



Nichtleiter

A3.1



Folgere aus den Ergebnissen in der Tabelle, wofür man Kunststoffe bei technischen Geräten benötigt.

Kunststoffe können bei technischen Geräten als Isolatoren verwendet werden.

Elektrostatik

Auch wenn Kunststoffe in der Regel nicht elektrisch leitend und somit Isolatoren sind, besitzen sie elektrostatische Eigenschaften.

V3.2

Reibe mit dem Wolltuch am PS-Lineal und halte dieses anschließend über die Papierschnipsel. Was kannst du beobachten?

Die Papierschnipsel werden von dem Lineal angezogen und bleiben an Diesem kleben.

A3.2

Versuche eine Erklärung für deine Beobachtung zu finden.

Durch das Reiben des Wolltuchs am Lineal wird dieses elektrostatisch aufgeladen. Durch das Anziehen der Papierschnipsel kann diese Aufladung zu einem gewissen Teil ausgeglichen werden, indem sich die Materialien die überflüssige Ladung teilen.

V3.3

Probiere den Versuch mit anderen Materialein aus. Was kannst du beobachten?

Die Antwort ist abhängig davon mit welchen Materialien der Versuch ausprobiert wird.

Glas zieht beispielsweise ebenfalls die Papierschnipsel an, während Aluminium dies nicht tut.

A3.3

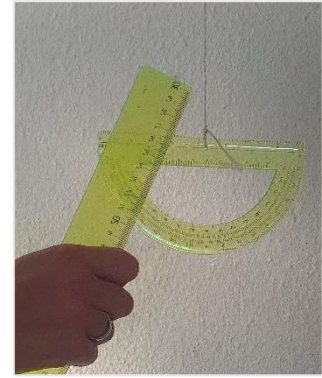
Was für Probleme könnten sich aufgrund der elektrostatischen Eigenschaften von Kunststoffen bei der Verwendung als Isolatoren ergeben?

Durch die elektrostatische Aufladung von Kunststoffen können Schmutzpartikel o.ä. leicht von diesen angezogen und teilweise schwer entfernt werden. Zudem kann es durch die elektrostatische Aufladung zu plötzlichen Entladungen kommen, welche bei entsprechender Umgebung bereits für eine Entzündung sorgen können.

V3.4



Reibe den PS-Winkelmesser an der Schnur mit dem Wolltuch und hänge ihn freischwebend auf. Reibe nun nacheinander mit dem Wolltuch an den in der Tabelle aufgelisteten Materialien und notiere deine jeweilige Beobachtung.



Material	Beobachtung
PS-Lineal	<i>Stößt den PS-Winkelmesser ab.</i>
PET-Schale	<i>Stößt den PS-Winkelmesser stark ab.</i>
PMMA-Stab	<i>Zieht den PS-Winkelmesser an.</i>
PLA-Löffel	<i>Stößt den PS-Winkelmesser ab.</i>
Edelstahl-Löffel	<i>Stößt weder ab noch zieht an.</i>
Alu-Lineal	<i>Stößt weder ab, noch zieht an.</i>
Glas-Stab	<i>Zieht den PS-Winkelmesser an.</i>

A3.4



Was kannst du aus deinen Beobachtungen folgern?

Da einige der Materialien sich abstoßen und andere sich anziehen, müssen einige der Materialien durch das Reiben positiv und andere negativ aufgeladen worden sein (geben entweder Elektronen ab oder nehmen welche auf).

Da die Materialien sich zudem unterschiedliche stark abstoßen, müssen sie durch das Reiben unterschiedliche stark aufgeladen werden.

A3.5



Auf der rechten Seite siehst du einen Ausschnitt der triboelektrischen Reihe. Welche Zusammenhänge kannst du zwischen deinen Ergebnissen und der triboelektrischen Reihe erkennen?

Die Materialien, welche sich in der triboelektrischen Reihe oberhalb von Wolle befinden ziehen den Winkelmesser an und die Materialien, welche sich in der triboelektrischen Reihe unterhalb von Wolle befinden stoßen diesen ab.

A3.6



Welche Bedeutung könnten das + und das – am oberen und unteren Ende der triboelektrischen Reihe haben?

Das + und – stehen für die Elektronenaffinität. Umso weiter unten ein Material in der triboelektrischen Reihe steht, umso lieber nimmt es Elektronen auf.

A3.7



Was kannst du an der triboelektrischen Reihe somit ablesen?

Reibt man zwei Materialien aus der triboelektrischen Reihe aneinander, so kann man anhand der Reihe vorhersagen, welches der Materialien sich positiv und welches sich negativ aufladen wird.

A3.8



Wofür könnte die Kenntnis der triboelektrischen Reihe von Nutzen sein?

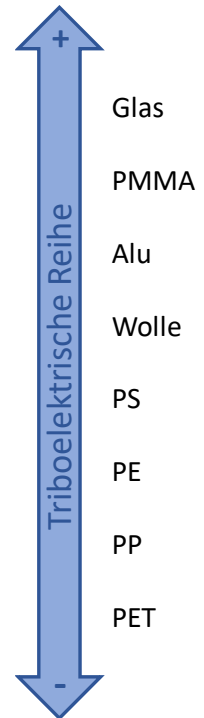
Umso weiter zwei Materialien in der triboelektrischen Reihe voneinander entfernt sind, umso stärker laden sich diese bei Reibung elektrostatisch auf. Bei der Isolation von technischen Geräten sollte man somit darauf achten, dass es nicht zu Reibung zwischen Materialien kommt, welche in der Reihe weit voneinander entfernt liegen.

A3.9



PLA wird in der triboelektrischen Reihe nicht aufgelistet. Versuche PLA einzuordnen und begründe deine Entscheidung.

Da PLA wie auch PS und PET den Winkelmesser abstößt, muss dieses ebenfalls unterhalb von Wolle platziert werden. Wo genau kann aufgrund der unterschiedlichen Größen und Formen der verwendeten Materialien jedoch nicht genau gesagt werden.



Wärmeleitfähigkeit**V3.5**

Fülle ein Becherglas mit heißem Wasser und stelle das PS-Lineal, den PET-Stab, den Edelstahlöffel, das Aluminium-Lineal und den Glasstab hinein. Fasse die einzelnen Materialein am herausstehenden Ende an und fühle, inwieweit sich diese erwärmen.



Gib **NICHT** den PLA-Löffel in das Glas, da PLA bei solchen Temperaturen bereits anfängt sich zu verformen.

A3.10

Notiere deine Beobachtungen. Was für Schlüsse kannst du aus diesen in Bezug auf die Wärmeleitfähigkeit der Materialien ziehen?

Es sollte festgestellt werden, dass sich der Edelstahlöffel und das Aluminium-Lineal wesentlich stärker erwärmen als die anderen Materialien. Zudem kann beobachtet werden, dass sich das Aluminiumlineal etwas schneller erwärmt als der Edelstahlöffel. Bei PS, PET und Glas sind nur sehr schwache Unterschiede zu erkennen. Allerdings sollte sich Glas etwas schneller erwärmen als PS und PET.



Stecke die FLIR-One Kamera an das Smartphone an und öffne die FLIR-One-App. Betrachte mit der Wärmebildkamera, wie stark sich die verschiedenen Materialien erwärmen.

A3.11

Was kannst du mit der Wärmebildkamera beobachten? Vergleiche die Ergebnisse der Wärmebildkamera mit deiner eigenen Wahrnehmung aus der vorherigen Aufgabe.

*Es sollten sich die gleichen Ergebnisse, wie bei der vorherigen Aufgabe ergeben. Andernfalls sollten die Ergebnisse der ersten Aufgabe nochmals überprüft werden, indem die Schüler*innen erneut fühlen, wie stark sich die einzelnen Materialien erwärmen.*

A3.12

Welche Gemeinsamkeiten und Unterschiede kannst du zu dem Versuch zur elektrischen Leitfähigkeit feststellen?

Die Materialien, welche den elektrischen Strom geleitet haben, erwärmen sich am schnellsten.

A3.13



Versuche die beobachteten Gemeinsamkeiten und Unterschiede anhand der Modellvorstellung zu elektrischen Leitern und Nichtleitern zu erklären.

Wärme breitet sich in einem Material durch ungeordnete Teilchenstöße aus. Da die Elektronen im Edelstahl und im Aluminium frei beweglich sind, können diese in kürzerer Zeit mehr Teilchenstöße ausführen. Somit kommt es bei Edelstahl und Aluminium zu einer schnelleren Ausbreitung der Wärme.

V3.6



Stelle dir vor, vier gleiche Gefäße aus Edelstahl, Glas, PET und PS werden mit heißem Wasser gefüllt. Entscheide anhand deiner vorherigen Beobachtungen, in welchen Gefäßen das Wasser am schnellsten/ langsamsten abkühlt. Begründe deine Entscheidung.

Da Edelstahl von den vier Materialien die beste Wärmeleitfähigkeit besitzt wird sich das Wasser im Edelstahlgefäß am schnellsten abkühlen.

Die zweitbeste Wärmeleitfähigkeit besitzt Glas. Somit wird das Wasser im Glasgefäß am zweitschnellsten abgekühlt sein.

Am längsten bleibt das Wasser im PET- und PS-Behälter warm, da diese Wärme nur sehr schlecht leiten und somit auch in Bezug auf die Wärme relativ gute Isolatoren darstellen.

Station 4: Plastik als Schallschutz

V4.1



Ein Slinky kann als Modell für die Ausbreitung von Schall genutzt werden. Spannt den Slinky auf einem glatten Untergrund und probiert dies zu zweit aus. Hierfür muss eine Person den Slinky festhalten, während die andere durch leichtes Anstoßen in Vorwärtsrichtung die „Schall-Wellen“ erzeugt.



Die hierbei entstehenden Wellen bezeichnet man als **Longitudinalwellen / Längswellen**.

A4.1



Beschreibe deine Beobachtung.

Die Abstände zwischen den einzelnen Metallringen verringern und vergrößern sich von links nach rechts nacheinander, sodass es aussieht, als würde eine Welle durch die Spirale laufen.

In Realität breitet sich Schall nicht über eine Metallspirale sondern in Luft aus.

A4.2



Versucht mithilfe des Slinky-Modells die Ausbreitung von Schall in Luft mit dem Teilchenmodell zu erklären.

Breitet sich Schall in Luft aus, so verringern und vergrößern sich die Abstände der Luftteilchen nacheinander, sowie die Abstände zwischen der Metallringen beim vorherigen Versuch.

Schwingungsanregung

V4.2



Schlage die Gummibänder, welche um die Papp-, PS-, Styropor-, Aluminium und PU-Schale gespannt sind, an. Beobachte inwiefern das Material der Schale mitschwingt.

A4.3



Ordne die Materialien danach, wie stark sie beim Anschlagen des Gummibandes mitschwingen.

schwingt sehr stark mit - _____ *Das Ergebnis hängt von der Wahrnehmung der Schüler*innen ab. So kann relativ eindeutig gesagt werden, dass Pappe am stärksten mitschwingt, während PU am wenigsten mitschwingt. Die restliche Anordnung ist jedoch nicht eindeutig.* _____

_____ - schwingt nur leicht/nicht mit

A4.4



Notiere weitere Beobachtungen.

*Sollten die Schüler*innen bei der Durchführung weitere Beobachtungen anstellen, können sie diese hier notieren.*

Schallleitung

Ebenso wie Strom und Wärme wird auch Schall von verschiedenen Materialien unterschiedlich gut weitergeleitet.

V4.3



Untersuche die Schallleitfähigkeit von Pappe, PS, Styropor (aufgeschäumtes PS), Aluminium und PU-Weichschaum. Halte dafür dein Ohr an eines der Bretter aus den verschiedenen Materialien, während du dir das andere zuhältst und lass eine andere Person auf das andere Ende der Platte klopfen.



A4.5



Ordne die Materialien danach, wie laut du das Klopfen hören konntest.

laut - _____ *Mögliche Anordnung: Pappe – PS – Aluminium – Styropor – PU-Schaum* _____
_____ *Wichtig hierbei ist, dass die Schüler*innen PU-Schaum als letztes in der Reihe anordnen!* _____
_____ - leise

V4.6



Notiere weitere Beobachtungen.

*Sollten die Schüler*innen bei der Durchführung weitere Beobachtungen anstellen, können sie diese hier notieren.*

Schalldämmung von Räumen



Da du für die nächsten Versuche eine ruhige Umgebung brauchst, begeben dich in den benachbarten Raum.

Mithilfe eines einfachen Smartphones und einer geeigneten App kann man heutzutage ganz einfach die Lautstärke messen. Diese wird in der Regel in **Dezibel dB** gemessen. Unsere Hörschwelle liegt dabei bei 0 dB, während ab 90 dB bereits Hörschäden verursacht werden können.

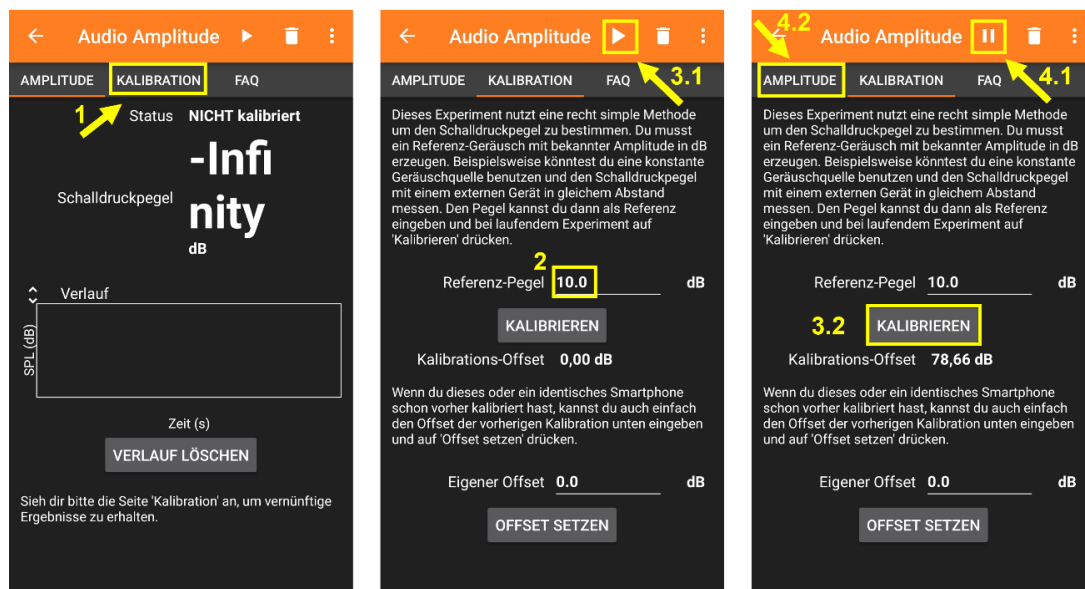


Öffne die App *phyphox* auf dem Smartphone und klicke auf „*Audio Amplitude*“. Kalibriere nun das Smartphone für die Lautstärkemessung.

Anleitung: Kalibration

1. Klicke auf „*Kalibration*“
2. Gib unter Referenz-Pegel 10.0 dB ein.*
3. Sorge dafür, dass es in deiner Umgebung leise ist und klicke auf den Play-Button. Klicke anschließend auf „Kalibrieren“. Das Smartphone ist nun kalibriert.
4. Stoppe die Aufnahme, indem du auf den Pause-Button klickst und gehe mit „*Amplitude*“ zurück zur Messanzeige.

* Da wir in der Regel von leisen Geräuschen umgeben sind und uns nicht in vollkommener Stille befinden, wird 10 dB und nicht 0 dB als Referenzwert gewählt.



Nun bist du bereit für die Lautstärkemessung. Diese kannst du mir dem Play- und Pause-Button starten und anhalten.



Klicke **nicht** auf den Pfeil links oben in der Ecke. Ansonsten musst du die Kalibration nochmal durchführen!

V4.4



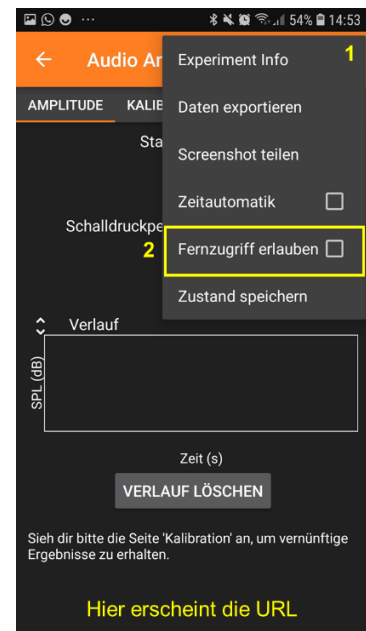
Mache dich mit der App *phyphox* vertraut, indem du die Lautstärke im Schülerlabor und auf dem Flur misst. Notiere deine Ergebnisse.

Für die folgenden Versuche ist es sinnvoll, die App *phyphox* mit einem Laptop zu verbinden, damit die Messergebnisse für alle gut sichtbar sind.

Anleitung: Verbinden von *phyphox* mit dem Laptop

1. Klicke auf die drei Punkte oben rechts in der Ecke
2. Wähle „Fernzugriff erlauben“.
3. Klicke bei der Sicherheitswarnung auf „OK“.
4. Gib die unten angezeigte URL in einem Internetbrowser ein.

Nun solltest du die Oberfläche von *phyphox* auf dem Laptop sehen können.



V4.5



Untersuche mithilfe der verschieden ausgekleideten Boxen, welche Materialien sich gut zur Schalldämmung eignen. Erzeuge dafür auf dem zweiten Smartphone einen Ton **auf voller Lautstärke** und lege es in die Boxen. Miss mit dem kalibrierten Smartphone die Lautstärke des zu hörenden Tons außerhalb der Box.

Nutze für die Erzeugung des Tons das zweite Smartphone. Öffne auf diesem die App *phyphox* und gehe dann auf „*Tongenerator*“.



Achte auf einen immer gleichen Abstand der beiden Smartphone.

Material	Keins	Pappe	Alu	PS	Styropor	PU-Schaum
Lautstärke in dB						

A4.7



Welches Material ist laut der Messergebnisse am besten zur Schalldämmung geeignet?

Anhand der Ergebnisse sollte eindeutig erkennbar sein, dass sich PU-Schaum am besten zur Schalldämmung eignet.

A4.8



Vergleiche dein Ergebnis mit den Ergebnissen aus den vorherigen Versuchen. Was muss ein schalldämmendes Material in Bezug auf die Schwingungsanregung und die Schalleitfähigkeit erfüllen?

Ein gut schalldämmendes Material sollte von Schwingung nicht angeregt werden und Schall nicht leiten.

Raumakustik

V4.6



Untersuche mithilfe der verschiedenen ausgekleideten Boxen, wie sich die verschiedenen Materialien auf die Lautstärke in einem Raum auswirken. Lege dafür nun beide Handys zusammen in die Boxen und miss die Lautstärke.

Material	Keine	Pappe	Alu	PS	Styropor	PU-Schaum
Lautstärke in dB						

A4.9



Warum ist die Lautstärke in den Kisten in der Regel größer als außerhalb?

Innerhalb der Kisten trifft der Schall schnell auf Wände und wird dadurch reflektiert, anstatt sich im ganzen Raum auszubreiten.

A4.10



Was lässt sich daraus für die Materialien schlussfolgern, bei denen die Lautstärke in der Box verhältnismäßig leise war?

Die Materialien, bei welchen die Lautstärke in der Box verhältnismäßig leise war, scheinen den Schall weniger stark zu reflektieren.

A4.11



Welches Material ist laut der Messergebnisse am besten zur Verringerung der Lautstärke in einem Raum geeignet?

Anhand der Ergebnisse sollte eindeutig erkennbar sein, dass sich PU-Schaum am besten zur Verringerung der Lautstärke eignet.

A4.12



PU-Schaum ist gut zur Schalldämmung geeignet (Schall durchdringt den Schaum schlecht), reflektiert den Schall auf der anderen Seite aber auch kaum. Der Schall muss somit im PU-Schaum absorbiert werden. Erkläre mithilfe der Struktur von PU-Schaum und der *Energieumwandlung*, was mit dem Schall im PU-Schaum passieren könnte.

Hinweis: Erinnere dich an das Teilchenmodell der Ausbreitung von Schall in Luft.

Schall breitet sich durch eine wandernde Verdichtung von Luftteilchen aus. Damit sich Schall ausbreitet, müssen sich die Luftteilchen also hin und her bewegen. Durch die vielen Hohlräume im PU-Schaum, können die durch den Schall bewegten Luftteilchen zunächst in den PU-Schaum eindringen. Da dieser eine sehr raue Oberfläche besitzt, wird die Bewegung der Luftteilchen im PU-Schaum jedoch durch Reibung gebremst. Es wird hierbei Bewegungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt, welche jedoch so gering ist, dass man sie nicht spüren kann.

Anhang B

(Lösungskärtchen)

- Linsen aus Glas: 1 & 5
- Linsen aus Kunststoff: 2, 3 & 4

- Dichte PMMA: $1,18 \text{ g/cm}^3$
- Dichte PLA: $1,24 \text{ g/cm}^3$
- Dichte (übliches) Glas: $2,5 \text{ g/cm}^3$
- Dichte Aluminium: $2,7 \text{ g/cm}^3$

Anhang C

(Einführende Präsentation für das Schülerlabor)



STIFTUNG
GIERSCH



Goethe-Schülerlabor Physik

Physikalische Eigenschaften von Plastik

1

Was sind physikalische Eigenschaften?

2

Was sind physikalische Eigenschaften?

- Dichte und Schwimmfähigkeit
- Verformbarkeit
- Reflexion und Transmission
- Lichtbrechung
- Elektrische Leitfähigkeit
- Wärmeleitfähigkeit
- Schallleitfähigkeit

3

Wo begegnet uns Plastik?

4

Wo begegnet uns Plastik?



5

Bildquellen

- <https://packaging-journal.de/wp-content/uploads/2018/01/rPET-Flasche.jpg>
- https://www.schaumstofflager.de/images/musik_proberaum_1.jpg
- https://www.rbb24.de/content/dam/rbb/rbb/rbb24/2020/2020_03/dpa-account/supermarkt1.jpg.jpg/size=708x398.jpg
- <https://p8t3j4a3.stackpathcdn.com/wp-content/uploads/2022/03/pexels-bora-c-10361128-min.jpg>
- https://www.nachhaltigleben.ch/images/stories/News/Biogemuese_Plastikverpackung_Tomaten_595.jpg
- https://decorservice.com/media/image/b8/be/9b/25071_1.jpg
- https://www.tupperware.de/assets/uploads/sites/2/2021/08/Ruehrschu%CC%88sselPro_Magazin_IMG4_800x800.jpg

6

Anhang D

(Feedbackbogen)

Feedbackbogen

Schülerlabor *Plastik*

	++	+	0	-	--
Ich habe im Schülerlabor <i>Plastik</i> Neues über die physikalischen Eigenschaften von Kunststoffen gelernt.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich habe im Schülerlabor <i>Plastik</i> gelernt, wo und warum Plastik eingesetzt wird.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich habe im Schülerlabor <i>Plastik</i> Neues in Bezug auf die Nachhaltigkeit von Plastik gelernt.	☐	☐	☐	☐	☐
Das Arbeiten im Schülerlabor <i>Plastik</i> hat mir Spaß gemacht.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich fand den Anspruch der Aufgaben im Schülerlabor angemessen. (++ = viel zu schwer, -- = viel zu leicht, 0 = angemessen)	☐	☐	☐	☐	☐
Ich konnte die Wiederholungsaufgaben gut beantworten.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich habe während der Aufgaben mit meinen Mitschülern*innen zusammengearbeitet.	☐	☐	☐	☐	☐
Ich habe mich während der Aufgaben immer wieder mit meinen Mitschülern*innen ausgetauscht.	☐	☐	☐	☐	☐

Das fand ich besonders gut / interessant:

Das sollte geändert oder besser gemacht werden:

Weitere Anmerkungen:

Anhang E

(Überarbeitete Version des Forscherhefts ohne Lösung)

Goethe-Schülerlabor Physik

Life In Plastic – It's Fantastic?

Kunststoffe im Blickpunkt der Physik



Name: _____

Inhalt

Einstieg: Kunststoffübersicht	3
Station 1: Plastik und die Umwelt.....	4
Station 2: Plastik in der Optik	9
Station 3: Leitfähigkeit von Plastik.....	15
Station 4: Plastik als Schallschutz	19

Bedeutung der Symbole



Wissen aus der Schule wird wiederholt.



Die Aufgabe soll schriftlich bearbeitet werden.



Es muss ein Text gelesen werden.



Es handelt sich um ein Experiment.



Es muss mit dem Laptop oder dem Smartphone gearbeitet werden.



Macht auf einen Hinweis aufmerksam.

Einstieg: Kunststoffübersicht

Kunststoff, im alltäglichen Sprachgebrauch in der Regel als Plastik bezeichnet, ist aus unserem heutigen Leben kaum noch wegzudenken. Wir verwenden ihn in der Lebensmittelindustrie, für Spielzeuge, in der Technik und in vielen weiteren Bereichen des Lebens.

Hierbei ist jedoch nicht Plastik gleich Plastik. Es gibt viele verschiedene Kunststoffe, welche je nach Eigenschaft in unterschiedlichen Gebieten Anwendung finden. Im Folgenden findest du eine kurze Übersicht über die Plastiksarten, welche dir im Laufe des Schülerlabors begegnen werden:

Kunststoff (Abk.)	Vollständige Bezeichnung	Biologisch abbaubar	Beispiele für Anwendungen
PET	Polyethylenterephthalat	Nein	Getränkeflaschen, Textilfasern, Lebensmittelverpackung, Reinigungsflaschen
PE	Polyethylen	Nein	Gefrierbeutel, Kosmetikbehälter, Medikamentendosen
PP	Polypropylen	Nein	Küchengefäße, Gefrierdosen, CD-Hüllen, Mehrfachsteckdosen
PS	Polystyrol	Nein	Plastikbesteck, Lebensmittelverpackung, Wärmedämmung, Spielzeug
PMMA	Polymethylmethacrylat	Nein	Alternative zu Glas (Plexi-Glas)
PU	Polyurethan	Nein	Schaumstoff, Wärmedämmung, Putzschwamm
PLA	Poly lactide / Polymilchsäure	Ja	Plastikbesteck, Lebensmittelverpackungen, Kaffeedeckel

Station 1: Plastik und die Umwelt

Obwohl herkömmliche Kunststoffe nicht biologisch abbaubar sind und dadurch in Bezug auf Umweltverschmutzung hoch in der Kritik stehen, werden sie weiterhin in großen Mengen produziert und verwendet. Ein Grund dafür ist ihre geringe Dichte, welche zur Folge hat, dass Kunststoffe im Vergleich zu alternativen Materialien wie beispielsweise Glas wesentlich weniger wiegen.

Im Folgenden soll in dieser Station deshalb die *Dichte* verschiedener Kunststoffe sowie einiger Kunststoffalternativen genauer untersucht werden.

Schwimmversuch

Anhand der Schwimmfähigkeit eines Objekts kann festgestellt werden, ob die Dichte des Objekts größer oder kleiner als die Dichte der entsprechenden Flüssigkeit ist. Somit kann eine erste grobe Abschätzung über die Größenordnung der Dichte eines Objekts gemacht werden.



Vervollständige anhand deines Vorwissens, die folgenden Sätze:

Ist die Dichte eines Objekts _____ als die Dichte der Flüssigkeit, geht es unter.

Ist die Dichte eines Objekts _____ als die Dichte der Flüssigkeit, schwimmt es.

Wasser hat eine Dichte von $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ und eine gesättigte Salzlösung hat eine Dichte von $1180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



Stelle Vermutungen an, welche der bereitstehenden Materialien auf Leitungswasser bzw. auf der Salzlösung schwimmen.

Material	Schwimmt...		
PET	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PE	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PP	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PS	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PMMA	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PLA	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
Glas	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
Aluminium	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
Holz	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser



Überprüfe deine Vermutungen aus der vorherigen Aufgabe. Tunke die Materialien dafür mit dem Glasstab leicht unter die Wasseroberfläche.



Notiere deine Beobachtung:

Überlaufversuch



Hinweis: Teilt die zu untersuchenden Objekte für den folgenden Versuch untereinander auf und tauscht nach dem Versuch eure Ergebnisse aus.

Um die Dichten der verschiedenen Materialien noch besser vergleichen zu können, soll in diesem Versuch die exakte Dichte der Materialien bestimmt werden.



Wie ist die Dichte definiert? _____

→ Um die Dichte eines Objekts zu bestimmen, benötigt man somit _____ und _____ des Materials.

Im Folgenden sollen die Dichten von PMMA, PLA, Glas und Aluminium bestimmt werden.



Bestimme die Massen, der bereitstehenden Objekte und trage sie in die Tabelle auf der nächsten Seite ein.



Das Volumen der bereitstehenden Objekte kann bestimmt werden, indem gemessen wird, wie viel Volumen an Wasser sie verdrängen.



Gehe für das Experiment wie folgt vor:

1. Wiege Becherglas 1. Becherglas 1 wiegt _____.
2. Platziere Becherglas 1 unterhalb der Überlaufkapillare von Becherglas 2.
3. Fülle mit Becherglas 3 Becherglas 2 so hoch mit Leitungswasser auf, dass gerade so etwas Wasser aus der Überlaufkapillare tropft.
4. Warte, bis kein Wasser mehr aus der Überlaufkapillare tropft und gieße das übergelaufene Wasser aus Becherglas 1 zurück in Becherglas 3.
5. Stelle Becherglas 1 unter die Überlaufkapillare zurück.
6. Gib das Objekt, dessen Volumen du bestimmen willst, in Becherglas 2 und warte, bis kein Wasser mehr aus der Überlaufkapillare tropft.
7. Wiege Becherglas 1 mit dem übergelaufenen Wasser. Ziehe von der ermittelten Masse die Masse des Becherglases ohne Wasser ab und notiere die Masse des verdrängten Wassers in der untenstehenden Tabelle.

Objekt	Masse	Masse verdrängtes Wasser +Glas 1	Masse verdrängtes Wasser	Volumen verdrängtes Wasser	Dichte
PMMA-Quader					
PLA-Scheibe					
Glas-Kugel					
Aluminium					



Vervollständige die restliche Tabelle. (Hinweis: Dichte von Wasser = $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)



Vergleiche deine Ergebnisse mit den Ergebnissen aus dem Schwimmversuch und mit den Dichten auf dem Lösungskärtchen. Was könnten Gründe für mögliche Abweichungen sein?

PET vs. Glas

Lies den Text „PET- vs. Glas-Flache“ aufmerksam durch und beantworte die untenstehenden Fragen.

PET- vs. Glas-Flasche

Plastikflaschen stehen aufgrund der Umweltverschmutzung durch Plastikabfälle schwer in der Kritik. So bilden Einwegflaschen gemeinsam mit anderen Einwegverpackungen einen Hauptbestandteil des vorhandenen Meeresmülls. Dies ist vor allem deshalb problematisch, da Plastik nur schlecht biologisch abbaubar ist, wodurch die Abfälle über viele Jahrzehnte erhalten bleiben und sich immer weiter anhäufen. Das Umweltbundesamt geht sogar davon aus, dass es über 450 Jahre dauert, bis eine PET-Flasche im Meer abgebaut wird. Zudem sorgen Umwelteinflüsse, wie Sonneneinstrahlung, der Salzgehalt im Ozean und der Angriff von mikrobiellen Lebewesen dafür, dass das Plastik in immer kleinere Bestandteile zersetzt wird, sodass es, selbst wenn es für uns nicht mehr sichtbar ist, immer noch in Form von Mikroplastik vorhanden ist. Dieses Mikroplastik wird dann von Meerestieren aufgenommen und gelangt so in den Nahrungskreislauf, wo es sowohl der Gesundheit der Tiere als auch der Gesundheit des Menschen schaden kann.

Trotz all dieser Probleme, welche Plastik in Bezug auf die Verschmutzung der Weltmeere aufwirft, lässt sich nicht eindeutig feststellen, dass Plastikflaschen im Allgemeinen eine schlechtere Ökobilanz aufweisen als Glasflaschen. So schneiden Mehrweg-Plastikflaschen in Bezug auf die Ökobilanz sogar besser ab als Glasflaschen, während Einweg-PET-Flaschen eine mit Glas-Mehrwegflaschen vergleichbare Ökobilanz aufweisen. Grund hierfür ist u.a. der Dichteunterschied von Glas und PET, welcher einen erheblichen Unterschied in Bezug auf die CO₂-Bilanz beim Transport zur Folge hat. Da Glas aufgrund der höheren Dichte wesentlich schwerer ist als Plastik, sorgt dies für einen erheblich höheren Treibstoffverbrauch bei Glasflaschen als bei Plastikflaschen, wenn die Flaschen über lange Strecken transportiert werden müssen. Aus diesem Grund sollte für eine gute Ökobilanz darauf geachtet werden, Glasflaschen aus der Region zu kaufen oder PET-Mehrwegflaschen zu nutzen.



Welche Nachteile hat eine PET-Flasche gegenüber einer Glasflasche



Welche Vorteile hat eine PET-Flasche gegenüber einer Glasflasche?

Station 2: Plastik in der Optik

Allein vom Aussehen her sind transparente Kunststoffe häufig nicht von Glas zu unterscheiden.



Vor dir findest du mehrere Brillengläser. Entscheide, welche der Brillengläser aus Glas und welches aus Kunststoff bestehen. Woran machst du deine Entscheidung fest?

Die Auflösung findest du auf der Rückseite des Lösungskärtchens.

Überprüfung der Reflexion- und Transmissionseigenschaft

Nun soll es um den Vergleich der Reflexions- und Transmissionseigenschaften verschiedener Kunststoffe und Glas gehen.



Vervollständige anhand deines Vorwissens die folgenden Definitionen:

Als **Reflexion** bezeichnet man, wenn Strahlen oder Wellen an einer Grenzfläche

_____.

Als **Transmission** bezeichnet man, wenn Strahlen oder Wellen durch ein Medium

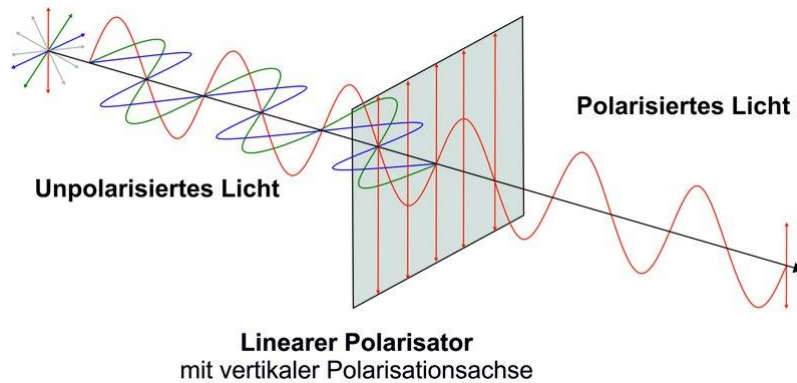
_____.



Im folgenden Experiment wird die Polarisierung von Licht benötigt. Hierfür sollte man zunächst verstehen, was Polarisierung von Licht überhaupt bedeutet.

Basiswissen Polarisierung

Einige physikalische Phänomene in Bezug auf Licht lassen sich nur erklären, wenn man die Modellvorstellung von Licht als Welle nutzt. Betrachtet man in diesem Modell ein Lichtbündel, so besteht dieses aus vielen Wellen unterschiedlicher Ausrichtungen (siehe Abbildung nächste Seite). Mit einem Polarisationsfilter ist es möglich, alle Ausrichtungen bis auf eine abzuschirmen, sodass man anschließend Licht erhält, welches aus Wellen einer einzigen Ausrichtung besteht. Dieses Licht nennt man polarisiertes Licht.



Quelle: <https://www.codixx.de/home/wissensecke/polarisation> [12.11.2022].

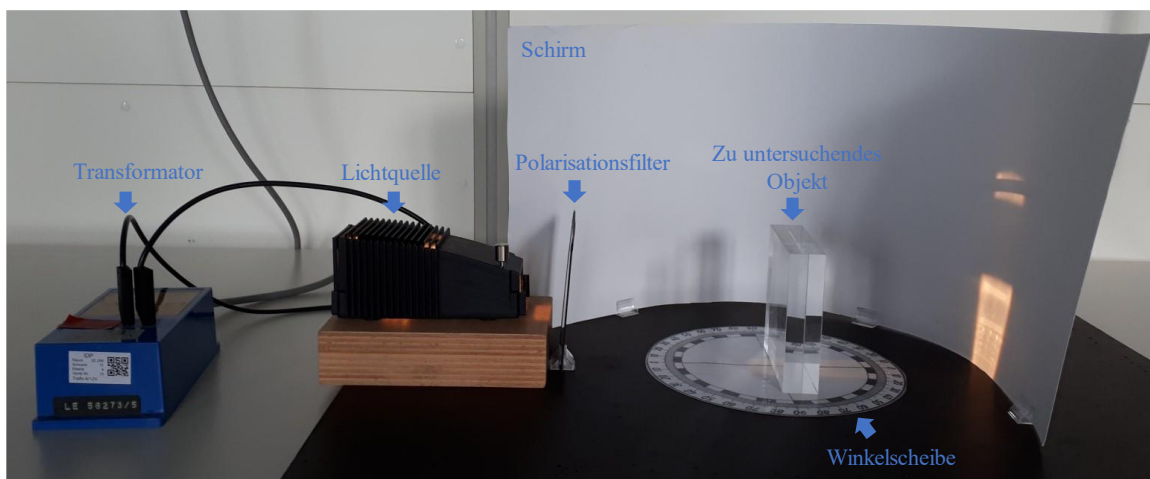


Untersuche die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Reflexions- und Transmissionseigenschaften von Glas, einem Spiegel, PMMA, PS und PLA.

Positioniere dafür nacheinander die zu untersuchenden Gegenstände auf der Winkelscheibe und beobachte die Reflexion und Transmission auf dem Schirm in Abhängigkeit des Einfallswinkels.



Um die Reflexion auf dem Schirm besser sehen zu können, kann die Jalousie am Tisch der Station geschlossen werden.



Beantworte die folgenden Fragen:



Bei welchen der Materialien kam es zu einer gleichzeitigen Transmission und Reflexion?

Bei welchen Materialien könntest du in Abhängigkeit des Reflexionswinkels Unterschiede im Reflexionsverhalten beobachten? Beschreibe diese.

Wie heißt das Phänomen, welches du bei der CD-Hülle (PS) beobachten könntest?

Entscheide anhand deiner Beobachtungen, welches der Materialien am besten als Ersatz für Glas geeignet ist und begründe deine Entscheidung kurz.

Kunststofflinsen in Smartphone-Kameras

Linsen aus Kunststoff spielen unter anderem bei der Produktion von Smartphone-Kameras eine wichtige Rolle. Warum dies so ist, soll im Folgenden erarbeitet werden.



Öffne die GeoGebra Datei „*Strahlengang-Sammellinse*“. Klicke dafür auf den Ordner „*Schülerlabor*“ und anschließend auf den Ordner „*Plastik*“.

Durch Bewegen von Punkt G kannst du die Größe des Gegenstands und den Abstand des Gegenstands von einer einfachen Sammellinse verändern. Beobachte welche Auswirkungen dies auf das entstehende Bild hat.



Was kannst du beobachten, wenn du die Größe des Gegenstands veränderst?



Was kannst du beobachten, wenn du den Abstand des Gegenstands zur Linse veränderst?

Ein Smartphone hat eine Dicke von 5 bis 9 mm. Das heißt, der Sensor, welcher das entstehende Bild verarbeitet, darf nicht weiter als 9 mm von der Linse entfernt sein. Zudem sind die Linsen in einem Smartphone fest verbaut und können im Gegensatz zu den Linsen einer Kamera nicht verstellt werden.



Was muss für das Bild gelten, damit wir es mit der Smartphone-Kamera scharf sehen können?



Überlege anhand deiner vorherigen Beobachtungen, warum eine einfache Sammellinse nicht für eine Smartphone-Kamera geeignet ist.



Was muss eine Linse für eine Smartphone-Kamera, aufgrund der geringen Breite des Smartphones erfüllen?

Damit mit Smartphones sowohl in der Nähe als auch in der Weite scharfe Bilder aufgenommen werden, benötigt man sogenannte **asphärische Linsen**.

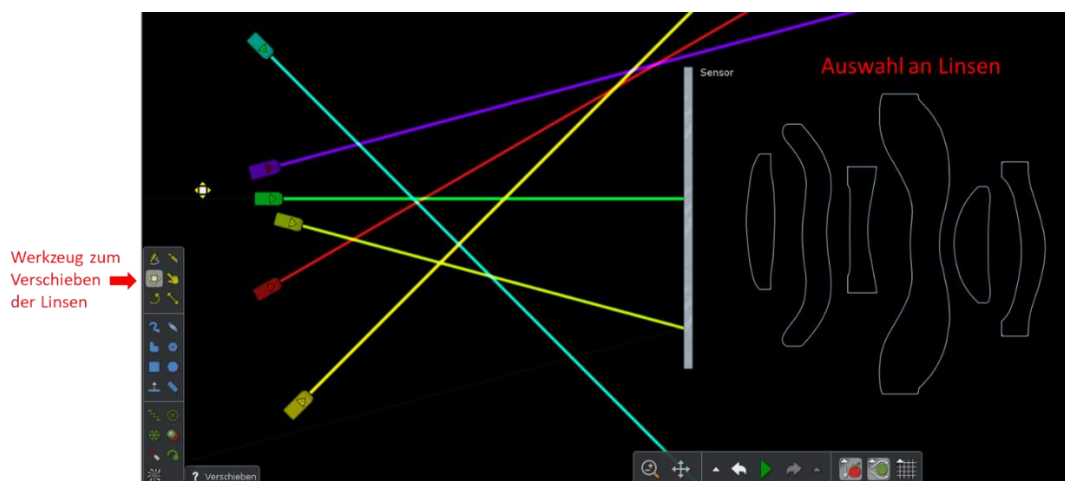
Sphärische Linsen sind Linsen, die überall den gleichen Krümmungsgrad aufweisen. So ist eine einfache Sammellinse z.B. eine sphärische Linse.

Asphärische Linsen hingegen weisen viele verschiedene Krümmungsgrade auf. Wegen ihrer komplexen Form ist es sehr aufwendig, asphärische Linsen aus Glas herzustellen. Stattdessen verwendet man für diese Kunststoff, welcher geschmolzen und in die entsprechende Form gegossen werden kann.



Öffne die Algodoo-Datei „*Smartphone-Kamera-Bauen*“. In dieser siehst du verschiedene asphärische Linsen, welche Teil eines Smartphone-Objektivs sind.

Versuche die Linsen so anzuordnen, dass alle Laserstrahlen auf den Sensor treffen.





Öffne nun die Algodoo-Datei „*Smartphone-Kamera-Lösung*“. In dieser findest du die Musterlösung eines Smartphone-Objektivs. Bewege und drehe die Laser, um herauszufinden, inwieweit die Strahlen noch auf den Sensor treffen. Was fällt dir auf?

Bewegen der Laser →
Drehen der Laser →



Station 3: Leitfähigkeit von Plastik

Elektrische Leiter und Nichtleiter



Baue aus der 4,5 V-Batterie, den Krokodilklemmen und dem Lämpchen einen Stromkreis und überprüfe die Leitfähigkeit der Materialien in der Tabelle.

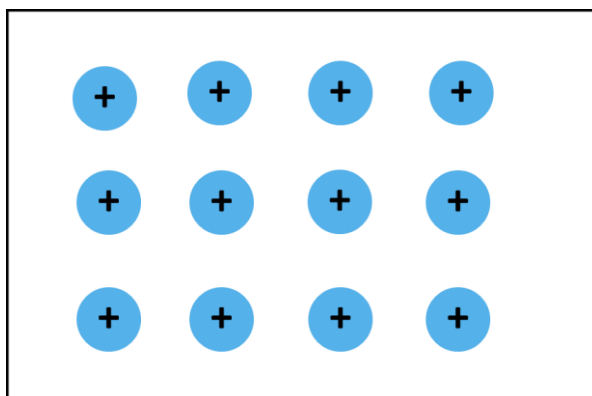
Material	leitfähig	nicht leitfähig
Edelstahl		
Aluminium		
Wolle		
PS		
PET		
PLA		
Glas		



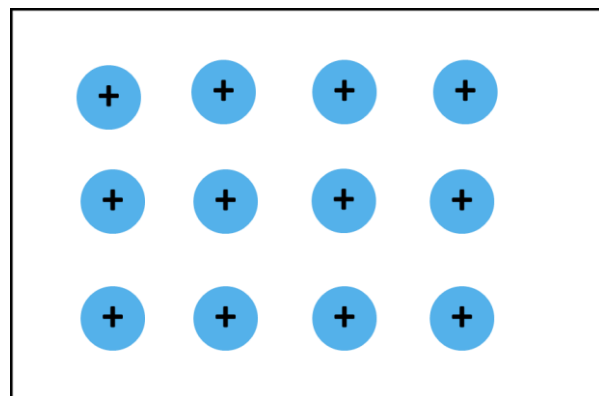
Erkläre, **warum** einige der Materialien leitfähig sind und andere nicht.



Ergänze im folgenden Modell vom Inneren eines Leiters und eines Nichtleiters die Elektronen.



Leiter



Nichtleiter



Folgere aus den Ergebnissen in der Tabelle, wofür man Kunststoffe bei technischen Geräten benötigt.

Elektrostatik

Auch wenn Kunststoffe in der Regel nicht elektrisch leitend und somit Isolatoren sind, besitzen sie elektrostatische Eigenschaften.



Reibe mit dem Wolltuch am PS-Lineal und halte dieses anschließend über die Papierschnipsel. Was kannst du beobachten?



Versuche eine Erklärung für deine Beobachtung zu finden.

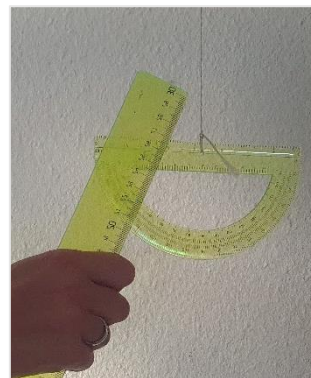


Probiere den Versuch mit zwei weiteren Materialien aus. Was kannst du beobachten?



Was für Probleme könnten sich aufgrund der elektrostatischen Eigenschaften von Kunststoffen bei der Verwendung als Isolatoren ergeben?

 Reibe den PS-Winkelmesser an der Schnur mit dem Wolltuch und hänge ihn freischwebend auf. Reibe nun nacheinander mit dem Wolltuch an den in der Tabelle aufgelisteten Materialien und halte sie **wie in der Abbildung** gezeigt an den Winkelmesser.



Notiere deine jeweilige Beobachtung.

Material	Beobachtung
PS-Lineal	
PET-Schale	
PMMA-Quader	
PLA-Löffel	
Glas-Stab	



Was kannst du aus deinen Beobachtungen folgern?



Auf der rechten Seite siehst du einen Ausschnitt der triboelektrischen Reihe. Welche Zusammenhänge kannst du zwischen deinen Ergebnissen und der triboelektrischen Reihe erkennen?



Welche Bedeutung könnten das + und das – am oberen und unteren Ende der triboelektrischen Reihe haben?



Was kannst du an der triboelektrischen Reihe somit ablesen?



Gedankenexperiment:

Stell dir vor, es ist Winter und du trägst Kopfhörer sowie eine Wollmütze, die an den Kopfhörern reibt. Angenommen, du könntest selbst entscheiden, mit welchem Material deine Kopfhörer isoliert werden, für welches Material würdest du dich entscheiden? Begründe deine Entscheidung und nimm dabei Bezug auf die triboelektrische Reihe.



PLA wird in der triboelektrischen Reihe nicht aufgelistet. Versuche PLA einzuordnen und begründe deine Entscheidung.



Glas

PMMA

Alu

Wolle

PS

PE

PP

PET

Station 4: Plastik als Schallschutz



Ein Slinky kann als Modell für die Ausbreitung von Schall genutzt werden. Spannt den Slinky auf einem glatten Untergrund und probiert dies zu zweit aus. Hierfür muss eine Person den Slinky festhalten, während die andere durch leichtes Anstoßen in Vorwärtsrichtung die „Schall-Wellen“ erzeugt.



Die hierbei entstehenden Wellen bezeichnet man als **Longitudinalwellen / Längswellen**.



Beschreibe deine Beobachtung.

In Realität breitet sich Schall nicht über eine Metallspirale sondern in Luft aus.



Versucht mithilfe des Slinky-Modells die Ausbreitung von Schall in Luft mit dem Teilchenmodell zu erklären.

Schwingungsanregung



Schlage die Gummibänder, welche um die Papp-, PS-, Styropor-, Aluminium und PU-Schale gespannt sind, an. Beobachte inwiefern das Material der Schale mitschwingt.



Ordne die Materialien danach, wie stark sie beim Anschlagen des Gummibandes mitschwingen.

schwingt sehr stark mit - _____

_____ - schwingt nur leicht/nicht mit



Notiere weitere Beobachtungen.

Schallleitung

Ebenso wie Strom und Wärme wird auch Schall von verschiedenen Materialien unterschiedlich gut weitergeleitet.



Untersuche die Schallleitfähigkeit von Pappe, PS, Styropor (aufgeschäumtes PS), Aluminium und PU-Weichschaum. Halte dafür dein Ohr an eines der Bretter aus den verschiedenen Materialien, während du dir das andere zuhältst und lass eine andere Person auf das andere Ende der Platte klopfen.



Ordne die Materialien danach, wie laut du das Klopfen hören konntest.

laut - _____

_____ - leise



Notiere weitere Beobachtungen.

Schalldämmung von Räumen



Da du für die nächsten Versuche eine ruhige Umgebung brauchst, begeben dich in den benachbarten Raum.

Mithilfe eines einfachen Smartphones und einer geeigneten App kann man heutzutage ganz einfach die Lautstärke messen. Diese wird in der Regel in **Dezibel dB** gemessen. Unsere Hörschwelle liegt dabei bei 0 dB, während ab 90 dB bereits Hörschäden verursacht werden können.

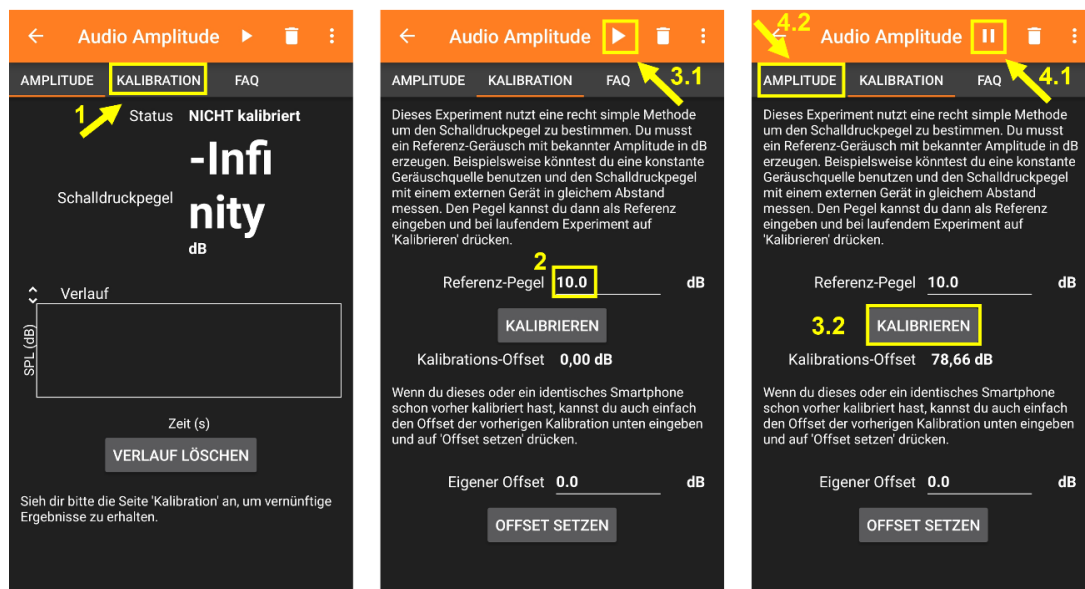


Öffne die App *phyphox* auf dem Smartphone und klicke auf „*Audio Amplitude*“. Kalibriere nun das Smartphone für die Lautstärkemessung.

Anleitung: Kalibration

1. Klicke auf „*Kalibration*“
2. Gib unter Referenz-Pegel 10.0 dB ein.*
3. Sorge dafür, dass es in deiner Umgebung leise ist und klicke auf den Play-Button. Klicke anschließend auf „Kalibrieren“. Das Smartphone ist nun kalibriert.
4. Stoppe die Aufnahme, indem du auf den Pause-Button klickst und gehe mit „*Amplitude*“ zurück zur Messanzeige.

* Da wir in der Regel von leisen Geräuschen umgeben sind und uns nicht in vollkommener Stille befinden, wird 10 dB und nicht 0 dB als Referenzwert gewählt.



Nun bist du bereit für die Lautstärkemessung. Diese kannst du mir dem Play- und Pause-Button starten und anhalten.



Klicke **nicht** auf den Pfeil links oben in der Ecke. Ansonsten musst du die Kalibration nochmal durchführen!

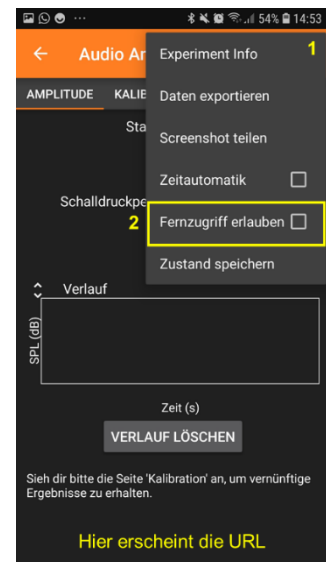


Mache dich mit der App *phyphox* vertraut, indem du die Lautstärke im Schülerlabor und auf dem Flur misst. Notiere deine Ergebnisse.

Für die folgenden Versuche ist es sinnvoll, die App *phyphox* mit einem Laptop zu verbinden, damit die Messergebnisse für alle gut sichtbar sind.

Anleitung: Verbinden von *phyphox* mit dem Laptop

1. Klicke auf die drei Punkte oben rechts in der Ecke
2. Wähle „Fernzugriff erlauben“.
3. Klicke bei der Sicherheitswarnung auf „OK“.
4. Gib die unten angezeigte URL in einem Internetbrowser ein.



Nun solltest du die Oberfläche von *phyphox* auf dem Laptop sehen können.



Untersuche mithilfe der verschieden ausgekleideten Boxen, welche Materialien sich gut zur Schalldämmung eignen. Spiele dafür auf dem zweiten Smartphone **auf voller Lautstärke** Staubsaugergeräusche ab und lege es in die Boxen. Miss mit dem kalibrierten Smartphone die Lautstärke des zu hörenden Geräuschs außerhalb der Box.

Nutze für die Erzeugung des Tons das zweite Smartphone. Öffne auf diesem die App *phyphox* und gehe dann auf „Tongenerator“.



Achte auf einen immer gleichen Abstand der beiden Smartphone.

Material	Keins	Pappe	Alu	PS	Styropor	PU-Schaum
Lautstärke in dB						



Welches Material ist laut der Messergebnisse am besten zur Schalldämmung geeignet?



Vergleich dein Ergebnis mit den Ergebnissen aus den vorherigen Versuchen. Was muss ein schalldämmendes Material in Bezug auf die Schwingungsanregung und die Schalleitfähigkeit erfüllen?



PU-Schaum ist gut zur Schalldämmung geeignet (Schall durchdringt den Schaum schlecht), reflektiert den Schall auf der anderen Seite aber auch kaum. Der Schall muss somit im PU-Schaum absorbiert werden. Erkläre mithilfe der Struktur von PU-Schaum und der *Energieumwandlung*, was mit dem Schall im PU-Schaum passieren könnte.

Hinweis: Erwinnere dich an das Teilchenmodell der Ausbreitung von Schall in Luft.

Anhang F

(Überarbeitete Version des Forscherhefts mit Lösung)

Goethe-Schülerlabor Physik

Life In Plastic – It's Fantastic?

Kunststoffe im Blickpunkt der Physik

Lösungsheft für Betreuer*innen und Lehrer*innen



Inhalt

Einstieg: Kunststoffübersicht	3
Station 1: Plastik und die Umwelt.....	4
Station 2: Plastik in der Optik	9
Station 3: Leitfähigkeit von Plastik.....	15
Station 4: Plastik als Schallschutz	19

Bedeutung der Symbole



Wissen aus der Schule wird wiederholt.



Die Aufgabe soll schriftlich bearbeitet werden.



Es muss ein Text gelesen werden.



Es handelt sich um ein Experiment.



Es muss mit dem Laptop oder dem Smartphone gearbeitet werden.



Macht auf einen Hinweis aufmerksam.

Einstieg: Kunststoffübersicht

Kunststoff, im alltäglichen Sprachgebrauch in der Regel als Plastik bezeichnet, ist aus unserem heutigen Leben kaum noch wegzudenken. Wir verwenden ihn in der Lebensmittelindustrie, für Spielzeuge, in der Technik und in vielen weiteren Bereichen des Lebens.

Hierbei ist jedoch nicht Plastik gleich Plastik. Es gibt viele verschiedene Kunststoffe, welche je nach Eigenschaft in unterschiedlichen Gebieten Anwendung finden. Im Folgenden findest du eine kurze Übersicht über die Plastiksarten, welche dir im Laufe des Schülerlabors begegnen werden:

Kunststoff (Abk.)	Vollständige Bezeichnung	Biologisch abbaubar	Beispiele für Anwendungen
PET	Polyethylenterephthalat	Nein	Getränkeflaschen, Textilfasern, Lebensmittelverpackung, Reinigungsflaschen
PE	Polyethylen	Nein	Gefrierbeutel, Kosmetikbehälter, Medikamentendosen
PP	Polypropylen	Nein	Küchengefäße, Gefrierdosen, CD-Hüllen, Mehrfachsteckdosen
PS	Polystyrol	Nein	Plastikbesteck, Lebensmittelverpackung, Wärmedämmung, Spielzeug
PMMA	Polymethylmethacrylat	Nein	Alternative zu Glas (Plexi-Glas)
PU	Polyurethan	Nein	Schaumstoff, Wärmedämmung, Putzschwamm
PLA	Poly lactide / Polymilchsäure	Ja	Plastikbesteck, Lebensmittelverpackungen, Kaffeedeckel

Station 1: Plastik und die Umwelt

Obwohl herkömmliche Kunststoffe nicht biologisch abbaubar sind und dadurch in Bezug auf Umweltverschmutzung hoch in der Kritik stehen, werden sie weiterhin in großen Mengen produziert und verwendet. Ein Grund dafür ist ihre geringe Dichte, welche zur Folge hat, dass Kunststoffe im Vergleich zu alternativen Materialien wie beispielsweise Glas wesentlich weniger wiegen.

Im Folgenden soll in dieser Station deshalb die *Dichte* verschiedener Kunststoffe sowie einiger Kunststoffalternativen genauer untersucht werden.

Schwimmversuch

Anhand der Schwimmfähigkeit eines Objekts kann festgestellt werden, ob die Dichte des Objekts größer oder kleiner als die Dichte der entsprechenden Flüssigkeit ist. Somit kann eine erste grobe Abschätzung über die Größenordnung der Dichte eines Objekts gemacht werden.



Vervollständige anhand deines Vorwissens, die folgenden Sätze:

Ist die Dichte eines Objekts größer als die Dichte der Flüssigkeit, geht es unter.

Ist die Dichte eines Objekts kleiner als die Dichte der Flüssigkeit, schwimmt es.

Wasser hat eine Dichte von $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ und eine gesättigte Salzlösung hat eine Dichte von $1180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



Stelle Vermutungen an, welche der bereitstehenden Materialien auf Leitungswasser bzw. auf der Salzlösung schwimmen.

Material	Schwimmt...		
PET	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PE	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PP	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PS	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PMMA	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
PLA	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
Glas	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
Aluminium	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser
Holz	☐ weder auf Wasser noch auf Salzwasser	☐ auf Wasser	☐ auf Salzwasser



Überprüfe deine Vermutungen aus der vorherigen Aufgabe. Tunke die Materialien dafür mit dem Glasstab leicht unter die Wasseroberfläche.



Notiere deine Beobachtung:

Auf Leitungswasser schwimmen PE, PP, und Holz.

Auf der gesättigten Salzlösung schwimmen PE, PP, Holz, PS und PMMA.

Überlaufversuch



Hinweis: Teilt die zu untersuchenden Objekte für den folgenden Versuch untereinander auf und tauscht nach dem Versuch eure Ergebnisse aus.

Um die Dichten der verschiedenen Materialien noch besser vergleichen zu können, soll in diesem Versuch die exakte Dichte der Materialien bestimmt werden.



Wie ist die Dichte definiert?

$$\rho = \frac{m}{V}$$

→ Um die Dichte eines Objekts zu bestimmen, benötigt man somit die Masse und das Volumen des Materials.

Im Folgenden sollen die Dichten von PMMA, PLA, Glas und Aluminium bestimmt werden.



Bestimme die Massen, der bereitstehenden Objekte und trage sie in die Tabelle auf der nächsten Seite ein.



Das Volumen der bereitstehenden Objekte kann bestimmt werden, indem gemessen wird, wie viel Volumen an Wasser sie verdrängen.



Gehe für das Experiment wie folgt vor:

1. Wiege Becherglas 1. Becherglas 1 wiegt _____.
2. Platziere Becherglas 1 unterhalb der Überlaufkapillare von Becherglas 2.
3. Fülle mit Becherglas 3 Becherglas 2 so hoch mit Leitungswasser auf, dass gerade so etwas Wasser aus der Überlaufkapillare tropft.
4. Warte, bis kein Wasser mehr aus der Überlaufkapillare tropft und gieße das übergelaufene Wasser aus Becherglas 1 zurück in Becherglas 3.
5. Stelle Becherglas 1 unter die Überlaufkapillare zurück.
6. Gib das Objekt, dessen Volumen du bestimmen willst, in Becherglas 2 und warte, bis kein Wasser mehr aus der Überlaufkapillare tropft.
7. Wiege Becherglas 1 mit dem übergelaufenen Wasser. Ziehe von der ermittelten Masse die Masse des Becherglases ohne Wasser ab und notiere die Masse des verdrängten Wassers in der untenstehenden Tabelle.

Objekt	Masse	Masse verdrängtes Wasser +Glas 1	Masse verdrängtes Wasser	Volumen verdrängtes Wasser	Dichte
PMMA-Quader					
PLA-Scheibe					
Glas-Kugel					
Aluminium					



Vervollständige die restliche Tabelle. (Hinweis: Dichte von Wasser = $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)



Vergleiche deine Ergebnisse mit den Ergebnissen aus dem Schwimmversuch und mit den Dichten auf dem Lösungskärtchen. Was könnten Gründe für mögliche Abweichungen sein?

*Mögliche Gründe, die von den Schüler*innen genannt werden können sind:*

- Ungenauigkeiten bei der Menge des Übergelaufenen Wassers (vorher nicht richtig gefüllt oder Wasser ist in der Überlaufkapillare hängen geblieben)
- Kleiner Hohlraum im Aluminium-Objekt
- Kleine Hohlräume in der PLA-Scheibe, welche durch den 3D-Druck entstehen

PET vs. Glas

Lies den Text „PET- vs. Glas-Flache“ aufmerksam durch und beantworte die untenstehenden Fragen.

PET- vs. Glas-Flasche

Plastikflaschen stehen aufgrund der Umweltverschmutzung durch Plastikabfälle schwer in der Kritik. So bilden Einwegflaschen gemeinsam mit anderen Einwegverpackungen einen Hauptbestandteil des vorhandenen Meeresmülls. Dies ist vor allem deshalb problematisch, da Plastik nur schlecht biologisch abbaubar ist, wodurch die Abfälle über viele Jahrzehnte erhalten bleiben und sich immer weiter anhäufen. Das Umweltbundesamt geht sogar davon aus, dass es über 450 Jahre dauert, bis eine PET-Flasche im Meer abgebaut wird. Zudem sorgen Umwelteinflüsse, wie Sonneneinstrahlung, der Salzgehalt im Ozean und der Angriff von mikrobiellen Lebewesen dafür, dass das Plastik in immer kleinere Bestandteile zersetzt wird, sodass es, selbst wenn es für uns nicht mehr sichtbar ist, immer noch in Form von Mikroplastik vorhanden ist. Dieses Mikroplastik wird dann von Meerestieren aufgenommen und gelangt so in den Nahrungskreislauf, wo es sowohl der Gesundheit der Tiere als auch der Gesundheit des Menschen schaden kann.

Trotz all dieser Probleme, welche Plastik in Bezug auf die Verschmutzung der Weltmeere aufwirft, lässt sich nicht eindeutig feststellen, dass Plastikflaschen im Allgemeinen eine schlechtere Ökobilanz aufweisen als Glasflaschen. So schneiden Mehrweg-Plastikflaschen in Bezug auf die Ökobilanz sogar besser ab als Glasflaschen, während Einweg-PET-Flaschen eine mit Glas-Mehrwegflaschen vergleichbare Ökobilanz aufweisen. Grund hierfür ist u.a. der Dichteunterschied von Glas und PET, welcher einen erheblichen Unterschied in Bezug auf die CO₂-Bilanz beim Transport zur Folge hat. Da Glas aufgrund der höheren Dichte wesentlich schwerer ist als Plastik, sorgt dies für einen erheblich höheren Treibstoffverbrauch bei Glasflaschen als bei Plastikflaschen, wenn die Flaschen über lange Strecken transportiert werden müssen. Aus diesem Grund sollte für eine gute Ökobilanz darauf geachtet werden, Glasflaschen aus der Region zu kaufen oder PET-Mehrwegflaschen zu nutzen.



Welche Nachteile hat eine PET-Flasche gegenüber einer Glasflasche?

- *schlecht biologisch abbaubar (über 450 Jahre)*
- *Sorgt für große Mengen an Meeresmüll*
- *Zersetzen sich zunächst zu Mikroplastik, welches von Tieren aufgenommen und so in die Nahrungskette gelangen kann → Kann Gesundheitsschäden verursachen.*



Welche Vorteile hat eine PET-Flasche gegenüber einer Glasflasche?

- *Geringere Dichte*
 - *Leichter als Glas*
 - *Beim Transport von PET-Flaschen wird weniger Treibstoff verbraucht und somit weniger CO₂ ausgestoßen*

Station 2: Plastik in der Optik

Allein vom Aussehen her sind transparente Kunststoffe häufig nicht von Glas zu unterscheiden.



Vor dir findest du mehrere Brillengläser. Entscheide, welche der Brillengläser aus Glas und welches aus Kunststoff bestehen. Woran machst du deine Entscheidung fest?

Brillengläser aus Glas: 1&5

Brillengläser aus Kunststoff: 2,3 & 4

Mögliche Begründungen: Glas ist schwerer als Kunststoff (höhere Dichte), Glas fühlt sich kälter an als Kunststoff (Wärmeleitfähigkeit), hellerer Klang beim Klopfen auf Glas

Die Auflösung findest du auf der Rückseite des Lösungskärtchens.

Überprüfung der Reflexion- und Transmissioneigenschaft

Nun soll es um den Vergleich der Reflexions- und Transmissionseigenschaften verschiedener Kunststoffe und Glas gehen.



Vervollständige anhand deines Vorwissens die folgenden Definitionen:

Als **Reflexion** bezeichnet man, wenn Strahlen oder Wellen an einer Grenzfläche zurückgeworfen werden.

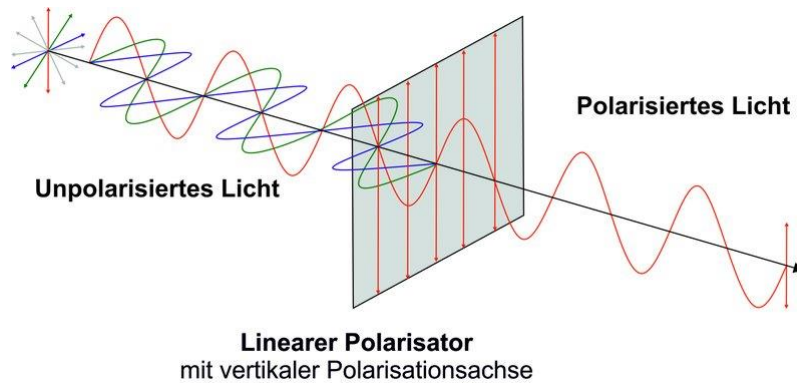
Als **Transmission** bezeichnet man, wenn Strahlen oder Wellen durch ein Medium hindurchgehen.



Im folgenden Experiment wird die Polarisierung von Licht benötigt. Hierfür sollte man zunächst verstehen, was Polarisierung von Licht überhaupt bedeutet.

Basiswissen Polarisierung

Einige physikalische Phänomene in Bezug auf Licht lassen sich nur erklären, wenn man die Modellvorstellung von Licht als Welle nutzt. Betrachtet man in diesem Modell ein Lichtbündel, so besteht dieses aus vielen Wellen unterschiedlicher Ausrichtungen (siehe Abbildung nächste Seite). Mit einem Polarisationsfilter ist es möglich, alle Ausrichtungen bis auf eine abzuschirmen, sodass man anschließend Licht erhält, welches aus Wellen einer einzigen Ausrichtung besteht. Dieses Licht nennt man polarisiertes Licht.

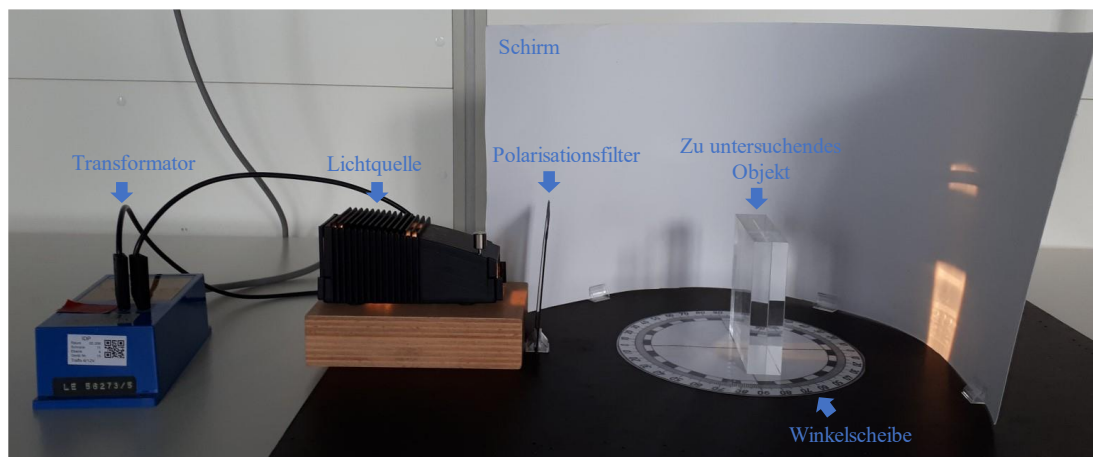


Quelle: <https://www.codixx.de/home/wissensecke/polarisation> [12.11.2022].



Untersuche die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Reflexions- und Transmissionseigenschaften von Glas, einem Spiegel, PMMA, PS und PLA.

Positioniere dafür nacheinander die zu untersuchenden Gegenstände auf der Winkelscheibe und beobachte die Reflexion und Transmission auf dem Schirm in Abhängigkeit des Einfallswinkels.



Beantworte die folgenden Fragen:

Bei welchen der Materialien kam es zu einer gleichzeitigen Transmission und Reflexion?



Bei Glas, PMMA und PS. Beim Spiegel und PLA ist keine Transmission zu Beobachten.

Bei welchen Materialien könntest du in Abhängigkeit des Reflexionswinkels Unterschiede im Reflexionsverhalten beobachten? Beschreibe diese.

Beim Spiegel waren keine Unterschiede im Reflexionsverhalten zu beobachten.

Bei PMMA und Glas ist eine Änderung der Lichtintensität in Abhängigkeit des Reflexionswinkels zu beobachten.

Bei der CD-Hülle kann in Abhängigkeit des Reflexionswinkels Dispersion beobachtet werden.

Bei PLA konnte man nur einen Lichtstreifen auf der PLA-Platte erkennen, nicht aber auf dem Schirm.

Wie heißt das Phänomen, welches du bei der CD-Hülle (PS) beobachten könntest?

Dispersion.

*HINWEIS: Auch bei Glas und PMMA kommt es zur Dispersion, allerdings nicht bei den betrachteten Dicken. Der Versuch soll zeigen, dass es bei PS schneller zu Dispersionseffekten kommt als bei PMMA und Glas, weshalb PS beispielsweise nicht als alternative für Brillenglas geeignet ist (sollte den Schüler*innen vom Betreuer als Zusatzinformation gegeben werden).*

Entscheide anhand deiner Beobachtungen, welches der Materialien am besten als Ersatz für Glas geeignet ist und begründe deine Entscheidung kurz.

PMMA ist am besten als Ersatz für Glas geeignet, da es dieselben Transmissions- und Reflexionseigenschaften aufweist. Glas und PMMA reflektieren und transmittieren beide das Licht und weisen gleichzeitig eine Winkelabhängigkeit der Intensität des Reflektierten Lichts auf.

Kunststofflinsen in Smartphone-Kameras

Linsen aus Kunststoff spielen unter anderem bei der Produktion von Smartphone-Kameras eine wichtige Rolle. Warum dies so ist, soll im Folgenden erarbeitet werden.



Öffne zunächst GeoGebra und anschließend in GeoGebra die Datei „Strahlengang-Sammellinse“. Durch Bewegen von Punkt G kannst du die Größe des Gegenstands und den Abstand des Gegenstands von einer einfachen Sammellinse verändern. Beobachte welche Auswirkungen dies auf das entstehende Bild hat.



Was kannst du beobachten, wenn du die Größe des Gegenstands veränderst?

Wird der Gegenstand vergrößert, vergrößert sich auch das Bild und wird schnell nicht mehr vom ganzen Smartphone-Sensor erfasst.



Was kannst du beobachten, wenn du den Abstand des Gegenstands zur Linse veränderst?

Durch Vergrößerung des Abstands nähert sich das Bild der Linse an, durch Verkleinerung des Abstands erhöht sich der Abstand vom Bild zur Linse. In beiden Fällen trifft das Bild nicht mehr auf dem Sensor auf.

Ein Smartphone hat eine Dicke von 5 bis 9 mm. Das heißt, der Sensor, welcher das entstehende Bild verarbeitet, darf nicht weiter als 9 mm von der Linse entfernt sein. Zudem sind die Linsen in einem Smartphone fest verbaut und können im Gegensatz zu den Linsen einer Kamera nicht nach vorne und hinten bewegt werden.



Was muss für das Bild gelten, damit wir es mit der Smartphone-Kamera scharf sehen können?

Das Bild muss auf Höhe des Sensors entstehen.



Überlege anhand deiner vorherigen Beobachtungen, warum eine einfache Sammellinse nicht für eine Smartphone-Kamera geeignet ist.

Bei einer Sammellinse gibt es nur eine Höhe, auf welcher das Bild wirklich scharf ist. Da die Linse im inneren der Smartphone-Kamera nicht verstellt werden kann, ist eine einfache Sammellinse somit nicht als Linse für eine Smartphone-Kamera geeignet.



Was muss eine Linse für eine Smartphone-Kamera, aufgrund der geringen Breite des Smartphones erfüllen?

Die Linse einer Smartphone-Kamera muss so beschaffen sein, dass die Bildweite weitgehend unabhängig von der Gegenstandsweite ist. Zudem muss das Licht auch unter großen Einfallswinkeln (Betrachtung großer Gegenstände oder Weitwinkel) auf dem Sensor aufkommen können.

Damit mit Smartphones sowohl in der Nähe als auch in der Weite scharfe Bilder aufgenommen werden, benötigt man sogenannte **asphärische Linsen**.

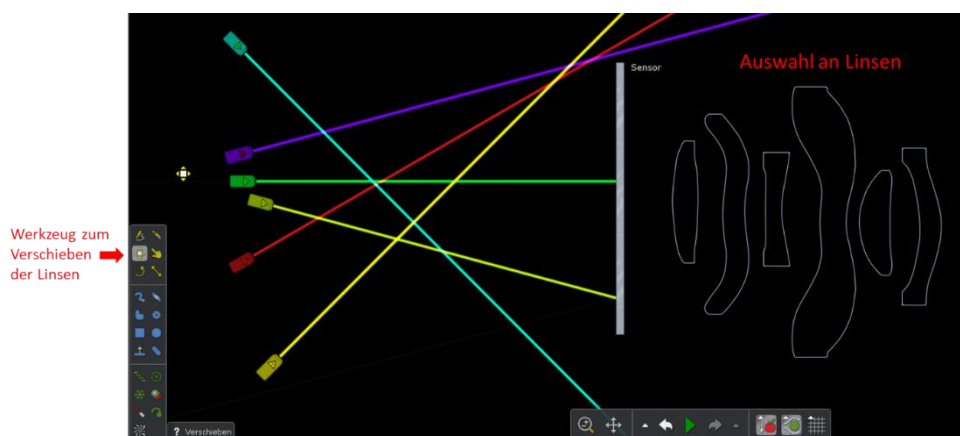
Sphärische Linsen sind Linsen, die überall den gleichen Krümmungsgrad aufweisen. So ist eine einfache Sammellinse z.B. eine sphärische Linse.

Asphärische Linsen hingegen weisen viele verschiedene Krümmungsgrade auf. Wegen ihrer komplexen Form ist es sehr aufwendig, asphärische Linsen aus Glas herzustellen. Stattdessen verwendet man für diese Kunststoff, welcher geschmolzen und in die entsprechende Form gegossen werden kann.



Öffne die Algodoo-Datei „Smartphone-Kamera-Bauen“. In dieser siehst du verschiedene asphärische Linsen, welche Teil eines Smartphone-Objektivs sind.

Versuche die Linsen so anzuordnen, dass alle Laserstrahlen auf den Sensor treffen.





Öffne nun die Algodoo-Datei „*Smartphone-Kamera-Lösung*“. In dieser findest du die Musterlösung eines Smartphone-Objektivs. Bewege und drehe die Laser, um herauszufinden, inwieweit die Strahlen noch auf den Sensor treffen. Was fällt dir auf?

*Es könnte von den Schüler*innen beobachtet werden:*

- *Laserstrahlen derselben Farbe und desselben Winkels treffen an derselben Stelle des Sensors auf.*
- *Ab einem bestimmten Winkel treffen die Strahlen nicht mehr auf dem Sensor auf.*

Bewegen der Laser →
Drehen der Laser →



Station 3: Leitfähigkeit von Plastik

Elektrische Leiter und Nichtleiter



Baue aus der 4,5 V-Batterie, den Krokodilklemmen und dem Lämpchen einen Stromkreis und überprüfe die Leitfähigkeit der Materialien in der Tabelle.

Material	leitfähig	nicht leitfähig
Edelstahl	X	
Aluminium	X	
Wolle		X
PS		X
PET		X
PLA		X
Glas		X

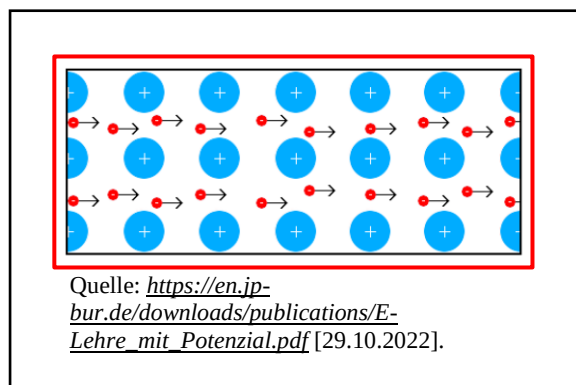


Erkläre, **warum** einige der Materialien leitfähig sind und andere nicht.

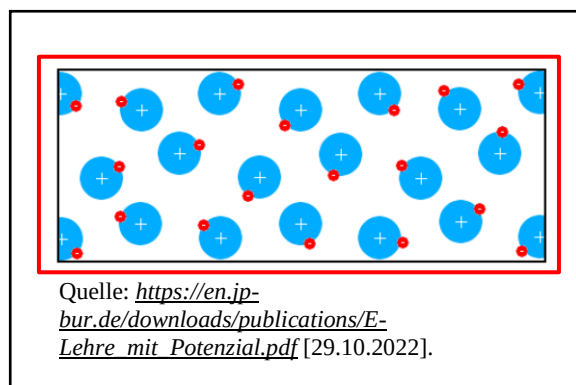
Damit ein Material elektrischen Strom leitet, müssen sich die Elektronen in diesem frei bewegen können. Dies ist bei Edelstahl und Aluminium der Fall. Bei den anderen Materialien hingegen können die Elektronen die Hülle des jeweiligen Atoms, in welchem sie sich befinden, nicht verlassen.



Ergänze im folgenden Modell vom Inneren eines Leiters und eines Nichtleiters die Elektronen.



Leiter



Nichtleiter



Folgere aus den Ergebnissen in der Tabelle, wofür man Kunststoffe bei technischen Geräten benötigt.

Kunststoffe können bei technischen Geräten als Isolatoren verwendet werden.

Elektrostatik

Auch wenn Kunststoffe in der Regel nicht elektrisch leitend und somit Isolatoren sind, besitzen sie elektrostatische Eigenschaften.



Reibe mit dem Wolltuch am PS-Lineal und halte dieses anschließend über die Papierschnipsel. Was kannst du beobachten?

Die Papierschnipsel werden von dem Lineal angezogen und bleiben an Diesem kleben.



Versuche eine Erklärung für deine Beobachtung zu finden.

Durch das Reiben des Wolltuchs am Lineal wird dieses elektrostatisch aufgeladen. Durch das Anziehen der Papierschnipsel kann diese Aufladung zu einem gewissen Teil ausgeglichen werden, indem sich die Materialien die überflüssige Ladung teilen.



Probiere den Versuch mit zwei weiteren Materialein aus. Was kannst du beobachten?

Die Antwort ist abhängig davon mit welchen Materialien der Versuch ausprobiert wird.

Glas zieht beispielsweise ebenfalls die Papierschnipsel an, während Aluminium dies nicht tut.

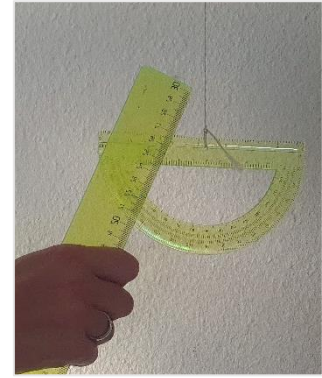


Was für Probleme könnten sich aufgrund der elektrostatischen Eigenschaften von Kunststoffen bei der Verwendung als Isolatoren ergeben?

Durch die elektrostatische Aufladung von Kunststoffen können Schmutzpartikel o.ä. leicht von diesen angezogen und teilweise schwer entfernt werden. Zudem kann es durch die elektrostatische Aufladung zu plötzlichen Entladungen kommen, welche bei entsprechender Umgebung bereits für eine Entzündung sorgen können.



Reibe den PS-Winkelmesser an der Schnur mit dem Wolltuch und hänge ihn freischwebend auf. Reibe nun nacheinander mit dem Wolltuch an den in der Tabelle aufgelisteten Materialien und halte sie **wie in der Abbildung** gezeigt an den Winkelmesser.



Notiere deine jeweilige Beobachtung.

Material	Beobachtung
PS-Lineal	<i>Stößt den PS-Winkelmesser ab.</i>
PET-Schale	<i>Stößt den PS-Winkelmesser stark ab.</i>
PMMA-Stab	<i>Zieht den PS-Winkelmesser an.</i>
PLA-Löffel	<i>Stößt den PS-Winkelmesser ab.</i>
Glas-Stab	<i>Zieht den PS-Winkelmesser an.</i>



Was kannst du aus deinen Beobachtungen folgern?

Da einige der Materialien sich abstoßen und andere sich anziehen, müssen einige der Materialien durch das Reiben positiv und andere negativ aufgeladen worden sein (geben entweder Elektronen ab oder nehmen welche auf).

Da die Materialien sich zudem unterschiedliche stark abstoßen, müssen sie durch das Reiben unterschiedliche stark aufgeladen werden.



Auf der rechten Seite siehst du einen Ausschnitt der triboelektrischen Reihe. Welche Zusammenhänge kannst du zwischen deinen Ergebnissen und der triboelektrischen Reihe erkennen?

Die Materialien, welche sich in der triboelektrischen Reihe oberhalb von Wolle befinden ziehen den Winkelmesser an und die Materialien, welche sich in der triboelektrischen Reihe unterhalb von Wolle befinden stoßen diesen ab.



Welche Bedeutung könnten das + und das – am oberen und unteren Ende der triboelektrischen Reihe haben?

Das + und – stehen für die Elektronenaffinität. Umso weiter unten ein Material in der triboelektrischen Reihe steht, umso lieber nimmt es Elektronen auf.



Was kannst du an der triboelektrischen Reihe somit ablesen?

Reibt man zwei Materialien aus der triboelektrischen Reihe aneinander, so kann man anhand der Reihe vorhersagen, welches der Materialien sich positiv und welches sich negativ aufladen wird. Zudem kann die Stärke der Aufladung vorhergesagt werden.



Gedankenexperiment:

Stell dir vor, es ist Winter und du trägst Kopfhörer sowie eine Wollmütze, die an den Kopfhörern reibt. Angenommen, du könntest selbst entscheiden, mit welchem Material deine Kopfhörer isoliert werden, für welches Material würdest du dich entscheiden? Begründe deine Entscheidung und nimm dabei Bezug auf die triboelektrische Reihe.

Ich würde mich für ein Material entscheiden, das in der triboelektrischen Reihe möglichst nah bei Wolle steht, da es bei der Reibung dann zur geringsten Aufladung kommt. Von den gegebenen Kunststoffen kommen somit am ehesten PMMA und PS in Frage. Zusatzinfo: In der Technik wird in der Regel PS verwendet.



PLA wird in der triboelektrischen Reihe nicht aufgelistet. Versuche PLA einzuordnen und begründe deine Entscheidung.

Da PLA wie auch PS und PET den Winkelmesser abstößt, muss dieses ebenfalls unterhalb von Wolle platziert werden. Wo genau kann aufgrund der unterschiedlichen Größen und Formen der verwendeten Materialien jedoch nicht genau gesagt werden.



Glas

PMMA

Alu

Wolle

PS

PE

PP

PET

Station 4: Plastik als Schallschutz



Ein Slinky kann als Modell für die Ausbreitung von Schall genutzt werden. Spannt den Slinky auf einem glatten Untergrund und probiert dies zu zweit aus. Hierfür muss eine Person den Slinky festhalten, während die andere durch leichtes Anstoßen in Vorwärtsrichtung die „Schall-Wellen“ erzeugt.



Die hierbei entstehenden Wellen bezeichnet man als **Longitudinalwellen / Längswellen**.



Beschreibe deine Beobachtung.

Die Abstände zwischen den einzelnen Metallringen verringern und vergrößern sich von links nach rechts nacheinander, sodass es aussieht, als würde eine Welle durch die Spirale laufen.

In Realität breitet sich Schall nicht über eine Metallspirale sondern in Luft aus.



Versucht mithilfe des Slinky-Modells die Ausbreitung von Schall in Luft mit dem Teilchenmodell zu erklären.

Breitet sich Schall in Luft aus, so verringern und vergrößern sich die Abstände der Luftteilchen nacheinander, sowie die Abstände zwischen der Metallringen beim vorherigen Versuch.

Schwingungsanregung



Schlage die Gummibänder, welche um die Papp-, PS-, Styropor-, Aluminium und PU-Schale gespannt sind, an. Beobachte inwiefern das Material der Schale mitschwingt.



Ordne die Materialien danach, wie stark sie beim Anschlagen des Gummibandes mitschwingen.

schwingt sehr stark mit - _____ *Das Ergebnis hängt von der Wahrnehmung der Schüler*innen ab. So kann relativ eindeutig gesagt werden, dass Pappe am stärksten mitschwingt, während PU am wenigsten mitschwingt. Die restliche Anordnung ist jedoch nicht eindeutig.* _____

_____ - schwingt nur leicht/nicht mit



Notiere weitere Beobachtungen.

*Sollten die Schüler*innen bei der Durchführung weitere Beobachtungen anstellen, können sie diese hier notieren.*

Schallleitung

Ebenso wie Strom und Wärme wird auch Schall von verschiedenen Materialien unterschiedlich gut weitergeleitet.



Untersuche die Schallleitfähigkeit von Pappe, PS, Styropor (aufgeschäumtes PS), Aluminium und PU-Weichschaum. Halte dafür dein Ohr an eines der Bretter aus den verschiedenen Materialien, während du dir das andere zuhältst und lass eine andere Person auf das andere Ende der Platte klopfen.



Ordne die Materialien danach, wie laut du das Klopfen hören konntest.

laut - ____ *Mögliche Anordnung: Pappe – PS – Aluminium – Styropor – PU-Schaum* ____

____ *Wichtig hierbei ist, dass die Schüler*innen PU-Schaum als letztes in der Reihe anordnen!* ____

- leise



Notiere weitere Beobachtungen.

*Sollten die Schüler*innen bei der Durchführung weitere Beobachtungen anstellen, können sie diese hier notieren.*

Schalldämmung von Räumen



Da du für die nächsten Versuche eine ruhige Umgebung brauchst, begeben dich in den benachbarten Raum.

Mithilfe eines einfachen Smartphones und einer geeigneten App kann man heutzutage ganz einfach die Lautstärke messen. Diese wird in der Regel in **Dezibel dB** gemessen. Unsere Hörschwelle liegt dabei bei 0 dB, während ab 90 dB bereits Hörschäden verursacht werden können.

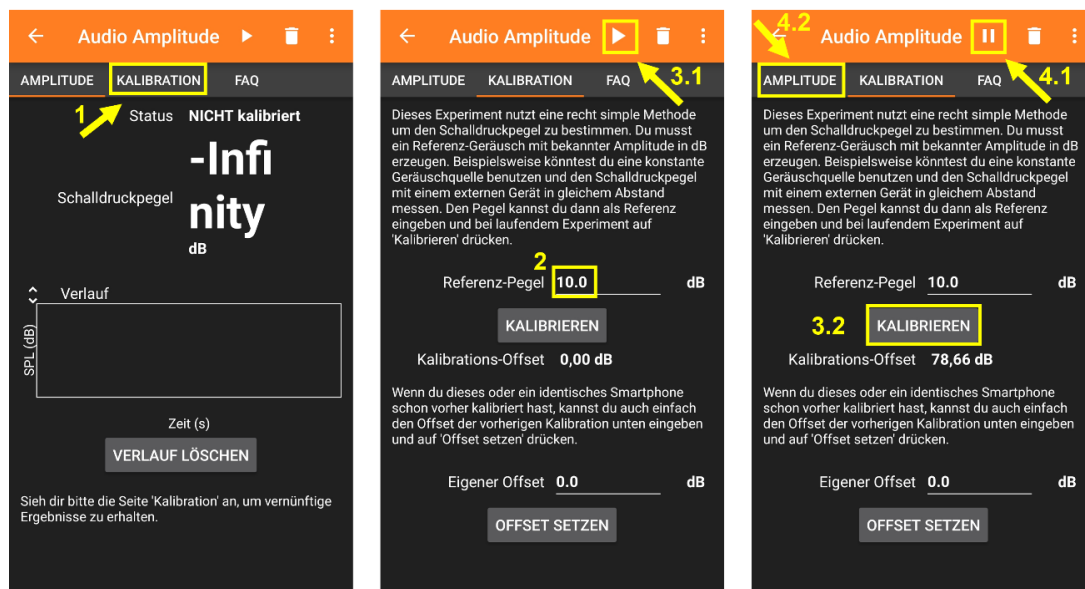


Öffne die App *phyphox* auf dem Smartphone und klicke auf „*Audio Amplitude*“. Kalibriere nun das Smartphone für die Lautstärkemessung.

Anleitung: Kalibration

1. Klicke auf „*Kalibration*“
2. Gib unter Referenz-Pegel 10.0 dB ein.*
3. Sorge dafür, dass es in deiner Umgebung leise ist und klicke auf den Play-Button. Klicke anschließend auf „Kalibrieren“. Das Smartphone ist nun kalibriert.
4. Stoppe die Aufnahme, indem du auf den Pause-Button klickst und gehe mit „*Amplitude*“ zurück zur Messanzeige.

* Da wir in der Regel von leisen Geräuschen umgeben sind und uns nicht in vollkommener Stille befinden, wird 10 dB und nicht 0 dB als Referenzwert gewählt.



Nun bist du bereit für die Lautstärkemessung. Diese kannst du mir dem Play- und Pause-Button starten und anhalten.



Klicke **nicht** auf den Pfeil links oben in der Ecke. Ansonsten musst du die Kalibration nochmal durchführen!

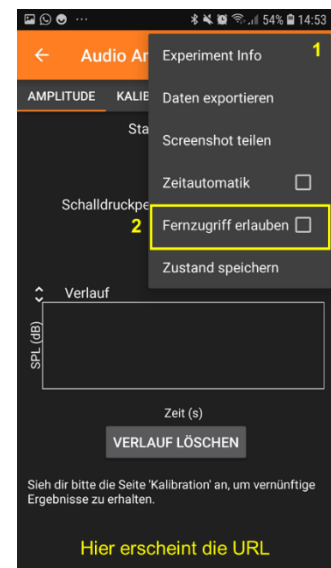


Mache dich mit der App *phyphox* vertraut, indem du die Lautstärke im Schülerlabor und auf dem Flur misst. Notiere deine Ergebnisse.

Für die folgenden Versuche ist es sinnvoll, die App *phyphox* mit einem Laptop zu verbinden, damit die Messergebnisse für alle gut sichtbar sind.

Anleitung: Verbinden von *phyphox* mit dem Laptop

1. Klicke auf die drei Punkte oben rechts in der Ecke
2. Wähle „Fernzugriff erlauben“.
3. Klicke bei der Sicherheitswarnung auf „OK“.
4. Gib die unten angezeigte URL in einem Internetbrowser ein.



Nun solltest du die Oberfläche von *phyphox* auf dem Laptop sehen können.



Untersuche mithilfe der verschieden ausgekleideten Boxen, welche Materialien sich gut zur Schalldämmung eignen. Spiele dafür auf dem zweiten Smartphone **auf voller Lautstärke** Staubsaugergeräusche ab und lege es in die Boxen. Miss mit dem kalibrierten Smartphone die Lautstärke des zu hörenden Geräuschs außerhalb der Box.

Nutze für die Erzeugung des Tons das zweite Smartphone. Öffne auf diesem die App *phyphox* und gehe dann auf „Tongenerator“.



Achte auf einen immer gleichen Abstand der beiden Smartphone.

Material	Keins	Pappe	Alu	PS	Styropor	PU-Schaum
Lautstärke in dB						



Welches Material ist laut der Messergebnisse am besten zur Schalldämmung geeignet?

Anhand der Ergebnisse sollte eindeutig erkennbar sein, dass sich PU-Schaum am besten zur Schalldämmung eignet.



Vergleiche dein Ergebnis mit den Ergebnissen aus den vorherigen Versuchen. Was muss ein schalldämmendes Material in Bezug auf die Schwingungsanregung und die Schalleitfähigkeit erfüllen?

Ein gut schalldämmendes Material sollte von Schwingung nicht angeregt werden und Schall nicht leiten.



PU-Schaum ist gut zur Schalldämmung geeignet (Schall durchdringt den Schaum schlecht), reflektiert den Schall auf der anderen Seite aber auch kaum. Der Schall muss somit im PU-Schaum absorbiert werden. Erkläre mithilfe der Struktur von PU-Schaum und der *Energieumwandlung*, was mit dem Schall im PU-Schaum passieren könnte.

Hinweis: Erinnere dich an das Teilchenmodell der Ausbreitung von Schall in Luft.

Schall breitet sich durch eine wandernde Verdichtung von Luftteilchen aus. Damit sich Schall ausbreitet, müssen sich die Luftteilchen also hin und her bewegen. Durch die vielen Hohlräume im PU-Schaum, können die durch den Schall bewegten Luftteilchen zunächst in den PU-Schaum eindringen. Da dieser eine sehr raue Oberfläche besitzt, wird die Bewegung der Luftteilchen im PU-Schaum jedoch durch Reibung gebremst. Es wird hierbei Bewegungsenergie in Wärmeenergie umgewandelt, welche jedoch so gering ist, dass man sie nicht spüren kann.

Rechtsverbindliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende schriftliche Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Die Stellen, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, sind durch Quellenangaben im Text deutlich gemacht.

Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung eingereicht worden.

Frankfurt am Main, 08.12.2022

Unterschrift