

Konzept und Entwicklung eines Escape Games für die 10. Klasse Physik

Masterarbeit von

Evelyn Kaiser

Am Institut für Experimentelle Teilchenphysik

1. Prüfer: Prof. Dr. Günter Quast
2. Prüfer: Jun.-Prof. Dr. Tobias Ludwig

April 2023 – August 2023

Inhaltsverzeichnis

1. Motivation	1
2. Was sind Escape Games?	3
2.1. Entstehung und allgemeine Definition von Escape Games	3
2.2. Rätselarten und Rätselaufbau in Escape Games	4
2.3. Warum Escape-Games?	5
2.4. Escape Games in der Schule	5
3. Vorüberlegungen zur Konzeption und Entwicklung der Escape Box Physik	9
3.1. Lernziel und Zielgruppe	9
3.2. Zeitpunkt der Durchführung im Schuljahr	10
3.3. Anforderungen der Escape Box Physik für den Bildungsbereich	10
4. Der strukturelle Aufbau und die Rätsel der Escape Box Physik	13
4.1. Aufbau und Struktur der Escape Box Physik	13
4.2. Die Rätsel der finalen Escape Box im Detail	16
4.2.1. Optik: 3D Sehen	16
4.2.2. Wärmelehre: Kreuzworträtsel	17
4.2.3. Optik: Schattenphänomene	19
4.2.4. Optik: Farbaddition	21
4.2.5. Struktur der Materie: Zerfälle	22
4.2.6. Struktur der Materie: Atomaufbau	24
4.2.7. Akustik: Domino	27
4.2.8. Elektromagnetismus: Induktion	28
4.2.9. Mechanik: Zentripetalkraft	31
4.2.10. Mechanik: Kinematik	32
4.2.11. Auflösung: Beugung am Gitter	34
4.3. Weitere fertig entwickelte Rätsel	34
4.3.1. Optik: Strahlenmodell	35
4.3.2. Elektrizitätslehre: Widerstand	37
5. Erkenntnisse aus den ersten Durchläufen	39
5.1. Erste Tests mit dem Escape Box Prototypen	39
5.2. Durchführungen mit der finalen Escape Box	41
5.2.1. Optimierungsmöglichkeiten der finalen Escape Box Physik	42
6. Zusammenfassung und Ausblick	45

Literatur	47
A. Anhang	51
A.1. Kostenabschätzung Escape Box Physik	51
A.2. Einführungshinweise und Einführungstext der Escape Box Physik	52
A.3. Ablaufstruktur der Escape Box für die Lehrkraft	53
A.4. Materialien und Dokumente für den Nachbau der finalen Escape Box Physik	54
A.5. Hinweiskarten	72
A.6. Abbau-Anleitung	74
A.7. Escape Box Prototyp	76
A.8. Entwicklung der Rätsel-Prototypen	83

Abbildungsverzeichnis

2.1.	Drei grundlegende Arten, um Rätsel in einem Escape Game aufeinander aufzubauen. Die runden Kreise stehen hierbei für einzelne Rätsel, das Rechteck für ein Meta-Rätsel. Bei einer offenen Rätselanordnung führen viele Rätsel parallel zu einem Meta-Rätsel. Bei einem sequentiellen Rätselaufbau werden alle Rätsel nacheinander gelöst. Eine Mischung aus beidem stellt der Pfad-basierte Rätselaufbau dar, nach [10].	4
2.2.	Escape Box nach dem Konzept von Veldkamp et al. Zuerst sind nur die Rätsel auf den Seitenflächen 1 sichtbar. Sobald diese gelöst sind, können die Rätsel auf den Seitenflächen 2 gelöst werden [12].	7
4.1.	Die zu Beginn verschlossene Escape Box Physik mit dem Anfangsrätsel auf dem Deckel.	14
4.2.	Überblick über die Rätselabfolge der Escape Box Physik. Überwiegend sind die Rätsel (dunkelgrüne Kästen) in einem sequentiellen Pfad angeordnet. Die parallel zu bearbeitenden Rätsel in Box 3 und Box 4 stellen eine Form der offenen Rätselanordnung dar.	15
4.3.	Anaglyphenbild in welchem sechs Zahlen aus Knete in unterschiedlicher räumlicher Tiefe angebracht sind.	17
4.4.	Originalbild für die Entwicklung des Anaglyphenbildes. Das Bild entspricht der Aufnahme des linken Auges.	17
4.5.	Kryptex bzw. Buchstabenrolle. Mit dem Code „DAMPF“ lässt sich der Zylinder entfernen. Darin sind Anweisungen und Figuren für das Rätsel Schattenphänomene versteckt.	18
4.6.	Aufbau des Rätsels Schattenphänomene . Stehen die Pappe Figuren und die Taschenlampen auf den richtigen Feldern, wird die am Schirm (senkrecht zum Tisch) abgebildete Zeichnung durch Schatten und Halbschatten rekonstruiert.	19
4.7.	Farbmischer für das optische Rätsel Farbaddition . Die Schrauben kleben auf darunter liegenden Tastern.	22
4.8.	Schaltung des Farbmischers. Die RGB LED wird über drei Taster gesteuert mit geeigneten Vorwiderständen.	22
4.9.	Ausschnitt aus dem Zerfallsrätsel . Die fehlenden Kennzahlen werden mithilfe der Notizen eines ϕ sik-Assistenten von den Schüler*innen vervollständigt.	23
4.10.	Das Rätsel Atomaufbau mit noch geöffnetem Deckel. Proton und Elektron sind durch jeweils einen Magneten, mit entgegengesetzter Polung, realisiert. Die zwei Neutronen sind aus Papier.	26

4.11.	Ausschnitt aus dem Rätsel Akustikdomino , bei welchem nach Domino Prinzip Aufnahmen von Schwingungen den richtigen Objekten zugeordnet werden müssen. Die Zahlen und Operatoren in den blauen Kästen können nach Vervollständigung des Rätsels ausgewertet werden und ergeben die Lösungszahl 2.	27
4.12.	Induktionsspule (rechts) mit passendem Magnetstab (links), welcher bei schnellem Hin- und Herbewegen in der Spule einen Induktionsstrom erzeugt. Daraufhin leuchtet die rote LED, neben welcher die Lösungszahl 3 steht. Die grüne und gelbe LED sind nicht angeschlossen. Hinter dem grauen Klebeband befinden sich die Lötstellen.	30
4.13.	Zauberkreuz, wie die Schüler*innen es vorfinden. Durch Drehen lässt es sich in seine zwei Teile zerlegen und offenbart die Lösungszahl.	30
4.14.	Geöffnetes Zauberkreuz. Die horizontal beweglichen Stifte in den Innenseiten können mit den Löchern des Gegenstücks einen Formschluss bilden.	30
4.15.	Ausschnitt aus dem Rätsel Kinematik , bei welchem die Schüler*innen aus dem linken $v-t$ -Diagramm die Wegstrecken s berechnen und sie in der rechten Karte einzeichnen. Im ersten Zeitabschnitt von 0 s bis 1 s legt das Fahrzeug eine Strecke von 2 m zurück und dreht dann nach rechts. Dies ist durch zwei Kreuze und einen Pfeil in der Karte rechts eingezeichnet.	33
4.16.	Viele Twinkys: runde Lochscheiben mit Diffraktionsfolie in der Mitte. Beim Hindurchschauen werden Lichtquellen durch unterschiedlich starke Beugung am Gitter in ihre Spektralfarben zerlegt. Bildquelle: [48].	35
4.17.	Holzkasten, welcher drei versteckte Spiegel enthält. Mithilfe eines Laserpointers untersuchen die Schüler*innen, an welchen Stellen die Spiegel sind.	36
4.18.	Widerstandsrätsel : Werden an den Krokodilklemmen die richtigen, berechneten Widerstände eingesetzt, leuchtet die grüne LED. Eine Fensterkomparatorschaltung erkennt, wenn die eingesetzten Widerstände zu groß oder zu klein sind, sodass keine LED leuchtet.	37
5.1.	Atomaufbau eines Lithium-Isotop-Ions für die Prototypen Escape Box. Die Elektronen sind in blau, Protonen in rot und Neutronen in gelb dargestellt.	41
A.1.	Schaltskizze der RGB LED im Rätsel Farbaddition , gestaltet in tinkercad [49]. Über die drei Taster werden die einzelnen Pins der LED angesteuert.	55
A.2.	Die mit einem Buchstabenschloss gesicherte Box 3.	55
A.3.	Box 4 in geschlossenem Zustand mit Farbschloss.	56
A.4.	Lötstelle des Kupferlackdrahtes an der low-current LED, integriert in dem 3D gedruckten Induktionsspulen-Konstrukt.	57
A.5.	Box 5 in geschlossenem Zustand mit dreistelligem Zahlenschloss. Der Farbcode links gibt Aufschluss über die Reihenfolge der Lösungszahlen.	57
A.6.	Holzkasten des Strahlenmodell -Rätsels in offenem Zustand mit drei geklebten Spiegeln. Die Bleistiftstriche verdeutlichen den Weg des Lichts.	58
A.7.	Schaltskizze des Fensterkomparators, visualisiert in tinkercad [49].	59
A.8.	Rätselstruktur des Escape Box Prototypen.	77

A.9.	Das Pappe Küken mit der Zahl 6 steht auf dem Feld 2-5, sodass auf dem Schirm der Schatten des Kükens so groß ist, wie die vorgegebene Zeichnung.	78
A.10.	Mithilfe der Zahlenkombinationen am Rand und aus anderen Rätseln lässt sich ein Lösungswort aus dem Text decodieren. Das λ zeigt den Zusammenhang zwischen den für die Textdecodierung benötigten Rätseln.	82
A.11.	Anaglyphenbild mit sechs zweidimensionalen Zahlen aus Papier in unterschiedlicher räumlicher Tiefe.	83
A.12.	Originalbild für die Entwicklung des Anaglyphenbildes. Das Bild entspricht der Aufnahme des rechten Auges.	83
A.13.	Erste Version des Rätsels Schattenphänomene . Mithilfe der Pappe Figuren und zwei Lichtquellen wird der Kernschatten und der blaue Halbschatten erzeugt.	84
A.14.	Erste Version des Rätsels Farbaddition . Die Taster und ein Mikrocontroller steuern die LEDs der RGB LED an.	84
A.15.	Erste Version des Rätsels Atomaufbau . In die Kästen wird vor dem Verschließen eine Kugel gelegt. Anhand von Gefühl und Gehör soll herausgefunden werden, um welche inneren Strukturen es sich handelt.	85
A.16.	Zweite Version des Rätsels Atomaufbau . In die Löcher werden Magnete als Protonen und Elektronen eingefügt. Die Neutronen sind mit PLA gefüllt.	86
A.17.	Die Entwicklung des Spulenträgers. Für die erste Version wurde ein dickerer Draht verwendet, weshalb der Bereich zum Wickeln der Spule noch sehr hoch ist. Die zweite Version ist geeignet um den Magnetstab darin schnell hin und her zu bewegen. In der finalen Version sind die LEDs integriert.	87
A.18.	Kinematikrätsel in einer ersten, komplexeren Version, die auch gleichmäßig beschleunigte Bewegung beinhaltet.	88
A.19.	Finale Version des Kinematikrätsels . Es gibt nur Strecken mit gleichförmiger Bewegung.	88
A.20.	Prototyp für das Rätsel Strahlenmodell .	88
A.21.	Erste Umsetzung der Schaltung für das Widerstandsrätsel auf dem Steckbrett. Die Fensterkomparatorschaltung besteht aus Operationsverstärkern und einem logischen UND-Gatter.	89
A.22.	Flaschenzug nachgebaut nach [52].	90
A.23.	Flaschenzug theoretisch mit Potenzflaschenzug auf der rechten Seite, Quelle [52].	90

1. Motivation

Escape Games sind Spiele, die Spaß machen, motivieren und mit ihrem Einsatz in der Schule verschiedene Kompetenzen fördern. Dazu zählen beispielsweise kritisches Denken, problemorientiertes Lösen, kollaboratives Arbeiten und inhaltliche Kompetenzen [1, 2]. Dem gegenüber steht das oft unbeliebte Unterrichtsfach Physik, welches für Schüler*innen durch seine abstrakte, mathematische Denk- und Arbeitsweise Lernschwierigkeiten darstellen kann [3]. Mithilfe der Entwicklung eines Escape Games für die 10. Klasse Physik sollen diese beiden Faktoren kombiniert werden, sodass die Schüler*innen sich mit physikalischen Themen auseinandersetzen, diese aber als motivierend und machbar erfahren und ihre Freude am Fach Physik gesteigert wird.

Diese Arbeit konzipiert und entwickelt eine besondere Form des Escape Games für die 10. Klasse Physik am Gymnasium, welches in dieser Form bisher noch nicht existiert. In der Umsetzung dieses Escape Games liegt der Fokus auf der Wiederholung von Inhalten der Mittelstufe Physik an Allgemeinbildenden Gymnasien in Baden-Württemberg, welche sowohl experimentell als auch theoretisch integriert werden. Diese Inhalte sind in Form von Rätseln in verschiedenen Boxen eingeschlossen. Sobald die Schüler*innen eine Rätselbox gelöst haben, können sie das Schloss an der nächsten Rätselbox öffnen und weiter knobeln. So sollen die unterschiedlichen Boxen mit einem breiten Spektrum an Themen nacheinander von den Schüler*innen gelöst werden. Dieser Escape Game Aufbau, eine sogenannte **Escape Box**, verbindet einige Vorteile gegenüber herkömmlichen Escape Rooms, welche sich im schulischen Kontext ergeben. Ein nennenswerter Vorteil ist, dass an jeder Escape Box eine Gruppe von 3-5 Schüler*innen zusammen arbeiten, was sicherstellt, dass eine ganze Klasse gleichzeitig die Escape Game Erfahrung macht und die Individuen zu gleichen Teilen mitarbeiten. Experimentelle Herangehensweisen, welche in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung eine große Rolle spielen, nehmen im Fach Physik einen zentralen Stellenwert ein [4]. Aus diesem Grund sollen auch in dieser Arbeit experimentelle Aufgabenstellungen und Rätsel zum Einsatz kommen, um den Schüler*innen den Erwerb physikalischer Kompetenzen zu ermöglichen.

Nach einem allgemeinen Teil in Kapitel 2, in welchem die Entstehung und Wirkung von Escape Games beleuchtet wird, werden Escape Games im Bildungskontext untersucht. Anschließend wird die Konzeption der Escape Box vorgestellt, mit Blick auf die Zielgruppe und aus dem schulischen Kontext resultierende Anforderungen an die Escape Box analysiert. Wie die Rätsel und die finale Version der Escape Box im Detail strukturiert ist, wird in Kapitel 4 vorgestellt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Escape Box mit verschiedenen Personengruppen durchgeführt. Durch wachsende Erkenntnisgewinnung hinsichtlich der Umsetzung der Escape Box, hat diese sich stets weiterentwickelt. Die

1. Motivation

Hauptkenntnisse sind in Kapitel 5 festgehalten, bevor im abschließenden Kapitel die Konzeption und Entwicklung der Escape Box bewertet wird.

2. Was sind Escape Games?

Dieses Kapitel gibt Aufschluss über die Definition eines Escape Games sowie die Abgrenzung zu ähnlichen, teilweise analog verwendeten, Begriffen. Des Weiteren werden die Unterschiede der Rätselarten und Rätselstrukturen in Escape Games erklärt und positive Auswirkungen von Escape Games auf die Spieler*innen betrachtet. Abschließend wird gezeigt, wie Escape Games im Bildungskontext eingesetzt werden und welche Anforderungen die schulische Umgebung mit sich bringt.

2.1. Entstehung und allgemeine Definition von Escape Games

Die Idee für Escape Games entstand laut Gmach [5] in den 1980er Jahren. 2004 gelang der Durchbruch in Japan, mit einem online Escape Room. Als 2013 zwei Brüder in München den ersten Live Escape Room eröffneten, verbreitete sich das Spielkonzept auch in Deutschland [5]. Bereits zwei Jahre später gab es bundesweit über 100 Anbieter von Live Escape Rooms [6]. Um das Jahr 2015 wuchs sodann das Interesse, Escape Games auch im schulischen Kontext einzusetzen [2], wie im Verlauf dieses Kapitels noch genauer untersucht wird. Heutzutage erfreuen sich Escape Games großer Beliebtheit. Es gibt sie in vielen unterschiedlichen Formen, bspw. als Live Escape Room [5], als EXIT-Game für Zuhause [7], als digitale oder analoge Escape Games mit Bildungskontext, indem bestimmte Lernziele verfolgt werden [8, 9] und weiteren Escape Game Formen.

Die grundlegende Idee und Definition eines Escape Games haben jedoch alle Escape Game Formen gemeinsam. In dieser Arbeit wird der Begriff Escape Game als Verallgemeinerung des Begriffs Escape Room verwendet. Unter Escape Game sind dabei alle Escape- Spielformen zu verstehen, inklusive des Escape Rooms. Escape Rooms beziehen sich auf das eher klassische Spielprinzip, wie von Scott Nicholson allgemein definiert: „Escape rooms are live-action team-based games where players discover clues, solve puzzles, and accomplish tasks in one or more rooms in order to accomplish a specific goal [...] in a limited amount of time“ [10]. Eine etwas konkretere Definition nach Grande-de-Prado lautet „Escape Rooms sind **kooperative** Spiele, bei denen die Spieler*innen innerhalb einer bestimmten Zeit Hinweise finden, Rätsel lösen und eine Vielzahl von Aufgaben erfüllen müssen. Das Ziel ist es normalerweise, aus einem Raum, einem Ort oder einer Umgebung zu entkommen oder diese zu verlassen“ (aus dem Englischen übersetzt, [11]). Heutzutage sind auch viele andere Spielkonzepte möglich, es muss kein Entkommen aus einem Raum sein, wie in den ursprünglichen Escape Rooms [12], sondern kann sich auch um das Entschärfen einer Bombe oder andere Aufgaben handeln.

Kernaspekte von Escape Rooms sind demnach, als Gruppe unter Zeitdruck bestimmte Aufgaben und Rätsel in einem oder mehreren Räumen zu lösen. Der hier verwendete, verallgemeinerte Begriff Escape Game weist grundsätzlich die gleichen Merkmale auf, beschränkt sich aber nicht auf die Durchführung in einem oder mehreren Räumen.

2.2. Rätselarten und Rätselaufbau in Escape Games

Die in Escape Games eingesetzten Rätsel werden unterteilt in kognitive, physische und Meta-Rätsel [12]. Um kognitive Rätsel zu lösen verwenden die Spieler*innen logisches Denken, was die Haupträtselart in Escape Games zu sein scheint [2]. Physische Rätsel bezeichnen Rätsel, welche durch körperlichen Einsatz gelöst werden, wie bspw. das Durchqueren eines Laser Gitters, um auf der anderen Seite an einen Alarmknopf zu kommen [12]. Führen die Ergebnisse und Hinweise mehrerer kleiner Rätsel zu der Lösung eines aufwändigeren, größeren Rätsels, so wird das größere Rätsel auch als Meta-Rätsel bezeichnet [2]. Oft ist das Meta-Rätsel das finale Rätsel des Escape Games [12].

Neben den Rätselarten wird auch der grundlegende Aufbau, bzw. die Reihenfolge der Rätsel unterteilt in eine offene, sequentielle und Pfad-basierte Rätselstruktur [10]. Wie in Abbildung 2.1 dargestellt, gibt es entweder viele einzelne Rätsel, welche zusammen ein Meta-Rätsel lösen (offen), oder die Rätsel müssen in einer bestimmten Reihenfolge nacheinander gelöst werden (sequentiell). Eine Mischung aus beidem stellt die Pfad-basierte Rätselordnung dar, bei welcher mehrere sequentielle Pfade zu einem Meta-Rätsel führen (vgl. Abb. 2.1) [10, 12]. Pfad-basierte Rätsel-Strukturen sind die häufigsten Vertreter in Escape Games, mit dem Vorteil, dass mehrere Spieler*innen gleichzeitig an verschiedenen Rätselpfaden arbeiten können [10].

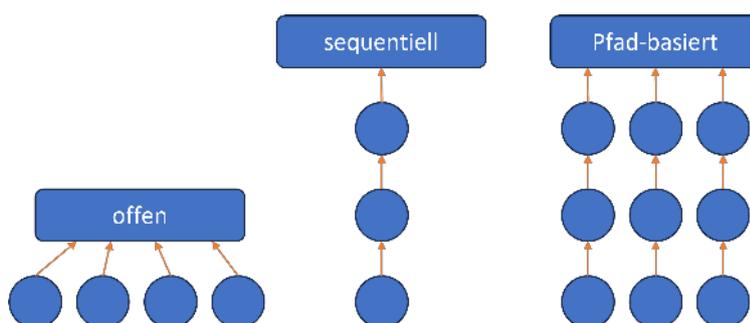


Abbildung 2.1.: Drei grundlegende Arten, um Rätsel in einem Escape Game aufeinander aufzubauen. Die runden Kreise stehen hierbei für einzelne Rätsel, das Rechteck für ein Meta-Rätsel. Bei einer offenen Rätselordnung führen viele Rätsel parallel zu einem Meta-Rätsel. Bei einem sequentiellen Rätselaufbau werden alle Rätsel nacheinander gelöst. Eine Mischung aus beidem stellt der Pfad-basierte Rätselaufbau dar, nach [10].

2.3. Warum Escape-Games?

Die Spieler*innen arbeiten unter Zeitdruck auf ein gemeinsames Spielziel hin, wodurch kollaboratives Arbeiten und funktionierende Kommunikation im Team von großem Nutzen sind [13]. Zudem fördern Escape Games durch ihren unkonventionellen und abwechslungsreichen Aufbau kreatives und kritisches Denken, Teamfähigkeit, Motivation und problemorientiertes Lösen [13, 2]. Verglichen mit den Fähigkeiten des 21. Jahrhunderts („21st Century Skills“), welche für den beruflichen Erfolg von Schüler*innen in der heutigen Zeit benötigt werden, sind viele der durch ein Escape Game geforderten Kompetenzen identisch [14, 15]. Dazu zählen sowohl die kognitiven Fähigkeiten, wie kritisches und kreatives Denken, wie auch die sozialen Fähigkeiten, wie Verantwortungsbewusstsein und Zusammenarbeit. Praktische Fähigkeiten werden in vielen Escape Rooms benötigt, um bestimmte Herausforderungen zu meistern [14]. Auch im Bildungsplan Physik Baden-Württemberg (BW) finden sich einige dieser Kompetenzen wieder, wie bspw. die Problemlösungskompetenz und Kommunikationsfähigkeit [16]. Dies zeigt, dass Escape Games in spielerischem, motivierendem Umfeld Kern-Kompetenzen für die Zukunft fördern, welche zum Teil auch in der Schule als relevant angesehen werden.

2.4. Escape Games in der Schule

Werden Escape Games in schulischem Kontext durchgeführt und mit einem spezifischen Lernziel eingesetzt, wird auch von Edu-Escape Rooms gesprochen [11]. Edu-Escape Games weisen grundsätzlich die gleichen Charakteristika auf wie herkömmliche Escape Rooms im Freizeitbereich: Unter Zeitdruck wird durch kollaborative Gruppenarbeit eine bestimmte Abfolge von Rätseln gelöst. Jedoch unterliegen Edu-Escape Games anderen Anforderungen, da sie, im Gegensatz zu Escape Rooms im Freizeitbereich, für eine spezifische Zielgruppe mit einem spezifischen Lernziel entwickelt werden. Dadurch haben die Rätsel meist einen thematischen Bezug zum Bildungsplan, die Raumgröße und Zeit ist begrenzt auf das Klassenzimmer und den Schulgong und eine ganze Klasse mit 25-30 Schüler*innen nimmt gleichzeitig an einem Escape Game teil [11, 1]. Escape Games im Bildungsbereich haben oft eine höhere Erfolgsrate, um ein positives Lernerlebnis zu vermitteln. Die Rätsel dürfen deswegen nicht zu schwer aber gleichzeitig auch nicht zu einfach sein, um Langeweile und Frustration zu verhindern. Außerdem sollen möglichst alle Schüler*innen das gewählte Lernziel erreichen [1].

Mögliche Lernziele sind bspw. das Lernen oder Wiederholen spezifischer inhaltlicher Kenntnisse und Arbeitstechniken, die Vertiefung von kritischem, problemorientiertem Denken und Teamwork oder die Entwicklung von beruflichen Zielen [17, 1]. Durch den Einsatz von Spielelementen mit einem pädagogischen Lernziel werden Edu-Escape Games auch mit den Begriffen Gamification und Game-Based Learning in Verbindung gebracht [11]. Unter Gamification wird der Einsatz von Spielelementen in einem nicht-spielerischen Kontext verstanden [18]. Dabei werden Belohnungen, Rahmengeschichten, Levels und andere Elemente aus digitalen Spielen genutzt, um im Bildungskontext ein bestimmtes

Lernziel zu erreichen [11]. Die Herausforderung besteht darin, die richtige Auswahl an Spielelementen zu treffen, um das gewünschte Lernziel zu erreichen [17]. Es konnte gezeigt werden, dass Gamification allgemein eine positive Wirkung auf die Motivation hat und zudem die Leistung der Spieler*innen verbessern kann [18]. Bisher bleibt jedoch unklar, welches Spielelement den Ausschlag für einen positiven Einfluss beim Lernen beisteuert [17]. Game-Based Learning beschreibt den Einsatz eines nicht für die Schule entwickelten Spieles, welches im Unterricht eingesetzt wird [11]. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Escape Box kann in Verbindung mit Gamification gebracht werden, da einige Spielelemente wie Belohnung, Rahmenstory, Rätsel und Levels integriert sind.

Der Einsatz von Edu-Escape Games kann neben der Motivationssteigerung, Förderung der Gruppendynamik und kollaborativem Arbeiten noch viele weitere Vorteile haben. Dazu zählen eine Verbesserung der Problemlösungskompetenz und analytischen Fähigkeiten, eine höhere Bereitschaft zu Lernen, eine Steigerung im Zugehörigkeitsgefühl, eine Förderung im Führungsverhalten und eine größere Freude am Lernen [11]. Dennoch sind Edu-Escape Games in ihrer Wirkung begrenzt und können kaum einen langjährigen „unbeliebten“ Physikunterricht ersetzen. Zudem gibt es trotz all der potentiellen Vorteile vergleichsweise wenig Publikationen zu Escape Games im Bereich des Physikunterrichts. Lathwesen und Belova haben insgesamt sechs verschiedene Physik Escape Game Publikationen untersucht und festgestellt, dass das Experimentieren als Arbeitsmethode in allen untersuchten Escape Games benötigt wird [17], was aufgrund seiner Relevanz im Fach Physik nachvollziehbar ist [4]. Die Zielgruppe in der von Lathwesen und Belova untersuchten Studie sind Schüler*innen der weiterführenden Schule. Als behandelte Themen werden der Photoeffekt, Elektromagnetismus, Antimaterie und Fluide genannt. Einige der Physik Escape Games beinhalteten Rätsel, für welche eine komplexere Ausrüstung benötigt wird [17]. Des Weiteren existieren neben dieser Studie noch andere physikalische Edu-Escape Games, welche Themen wie den Radon-Zerfall [19], optische Phänomene [20, 21], die Newtonschen Axiome [22], Elektrizitätslehre [23], Quantenphysik [24, 25] und allgemeines Physikwissen [26, 27] behandeln. Auffällig ist, dass einige der genannten Physik-Escape Games digitale Escape Rooms sind. Dies ist vor allem in der Schule von Vorteil, da es wenig Materialkosten verursacht und beim Auf- und Abbau Zeit spart. Der Escape Room „Escapen mit Physik - Ein Escaperoom zur Festigung des Grundwissens der 7. und 8. Klasse G9 Gymnasium Physik“ [26] wurde während der Corona Pandemie von Lehrkräften entwickelt. Deren Intention ist vergleichbar mit dem Ziel der in dieser Arbeit entstandenen Escape Box Physik. Insbesondere behandelt dieser Escape Room Themen wie Gewichtskraft, Hookscher Bereich, Abbildung durch Linsen, Berechnung des elektrischen Widerstands, geschlossener Stromkreis, Dichte, Magnetismus, Spiegel, Lichtausbreitung, Kräfteaddition und Farbmischung [26]. Um diesen Escape Room nachzubauen und die Rätsel vorzubereiten braucht es jedoch viel Platz, Materialien und Zeit der Lehrkräfte. Eine weitere Herausforderung ist, dass immer nur eine Gruppe von max. 8 Schüler*innen den Escape Room spielen kann. Bei einer großen Klasse wird deshalb ein alternatives Unterrichts-Programm für die restlichen Schüler*innen benötigt.

Ein Ansatz um dieses Problem zu umgehen, ist ein Escape Game in Form einer Escape Box. Die von Veldkamp et al. [12] entwickelte Escape Box besteht aus einer hexagonalen Struktur mit drei Rätseln auf drei Seitenflächen. Drei weitere Rätsel sind hinter Platten

auf den übrigen Seitenflächen versteckt (vgl. Abb. 2.2). Sobald die Spieler*innen die ersten drei Rätsel gelöst haben, können sie ein Schloss öffnen, welches die nächsten drei Rätsel zum Vorschein bringt. Dieser Aufbau eignet sich gut, um Zusammenarbeit in Gruppen von 3-5 Schüler*innen zu fördern. Maßgebend bei der Entwicklung war das Kriterium der Nachhaltigkeit: Die Box soll flexibel wiederverwendbar sein und mit verschiedenen Inhalten leicht bestückt werden können. Dies wurde erreicht, indem die Seitenteile einfach ausgetauscht werden können. Die flachen Seitenteile zu lagern ist platzsparend und gleichzeitig sind viele verschiedene Umsetzungen mit der gleichen Escape Box möglich [12]. Eine andere Form der Escape Box wird im Technoseum in Mannheim für Schulklassen

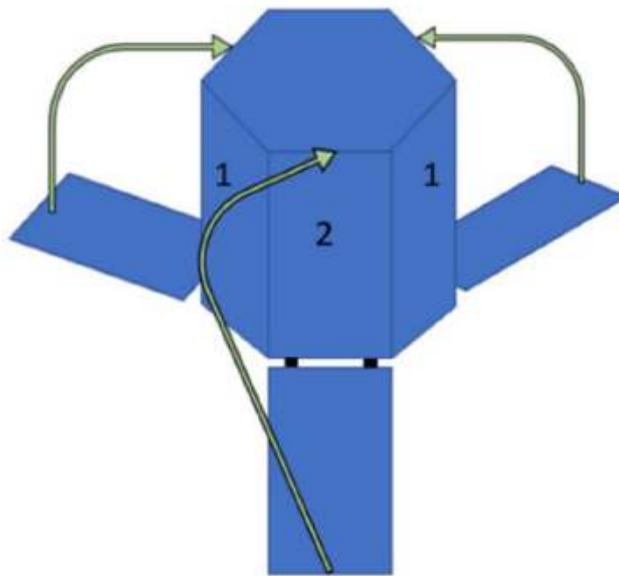


Abbildung 2.2.: Escape Box nach dem Konzept von Veldkamp et al. Zuerst sind nur die Rätsel auf den Seitenflächen 1 sichtbar. Sobald diese gelöst sind, können die Rätsel auf den Seitenflächen 2 gelöst werden [12].

angeboten. Im Unterschied zu Veldkamp et al. besteht die Escape Box im Technoseum aus einer Box, die geöffnet werden muss. Darin befinden sich viele weitere Rätsel, Boxen und Materialien, die in einer bestimmten Reihenfolge gelöst werden müssen. Zudem werden auch Apparaturen eingesetzt (bspw. Laptop, optischer Versuchsaufbau), die im Raum stehen und so groß sind, dass sie nicht in die Box hineinpassen [28]. Für die Umsetzung an einer Schule ist dies jedoch unpraktisch, da ein aufwändiger Aufbau und Abbau von verschiedenen Apparaturen Zeit und Platz kostet, sowohl in der Herstellung als auch in der Umsetzung.

Die in dieser Arbeit entwickelte Escape Box basiert auf dem Vorbild der beiden Escape Boxen von Veldkamp et al. und dem Technoseum. Das ausführliche Konzept und die zu Grunde liegenden Vorüberlegungen der Escape Box Physik werden in den folgenden Kapiteln aufgezeigt.

3. Vorüberlegungen zur Konzeption und Entwicklung der Escape Box Physik

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Kriterien, welche die Gestaltung und die Entwicklung der Escape Box Physik beeinflussen. Ausgehend von den Teilnehmer*innen und der Zielsetzung der Escape Box Physik ergeben sich die zeitliche Einbettung des Escape Games im Unterrichtsgeschehen sowie verschiedene Anforderungen an die Escape Box und die darin enthaltenen Rätsel, welche durch die spezifischen Rahmenbedingungen im Bildungsbereich entstehen.

3.1. Lernziel und Zielgruppe

Die grundlegende Idee der Escape Box Physik ist, dass sie als Wiederholung für behandelte Themen der Mittelstufe Physik eingesetzt wird und Schüler*innen für das Fach Physik begeistert. Durch sowohl kollaboratives als auch selbstständiges Arbeiten werden physikalische Phänomene in der Escape Box auf eine neue, motivierende Art und Weise erfahrbar gemacht. Dies soll die intrinsische Motivation und den Spaß der Schüler*innen am Fach Physik wecken und ihnen zeigen, dass sie dazu in der Lage sind, eigenständig physikalische Rätsel zu lösen und ihr Verständnis über die enthaltenen physikalischen Phänomene steigern.

Von der 7. Klasse bis zur 10. Klasse gibt es Physik als Unterrichtsfach für Schüler*innen am allgemeinbildenden Gymnasium in Baden-Württemberg [16]. In der 10. Klasse entscheiden die Schüler*innen, welche Kurse sie in der Oberstufe belegen wollen. Ein oder zwei von den Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik können dabei durchgängig als Leistungs- oder Basiskurs gewählt werden [29]. Eine aktuelle Statistik über die Anzahl an Schüler*innen, welche Physik als Leistungskurs wählen oder es ganz abwählen konnte nicht gefunden werden. Jedoch zeigt eine DPG Studie von 2016, dass Physik noch immer eines der unbeliebtesten Fächern ist, an welchem geringes Interesse besteht [3, 30]. Als Probleme des Faches Physik nennt die DPG Studie u.a. nicht ausreichende Kompetenzen der Schüler*innen, fehlende Vernetzung des Unterrichtsstoffes und eine große Leistungsheterogenität in der Klasse [3]. Die Escape Box Physik richtet sich deshalb an Teilnehmer*innen der 10. Klasse, um diesen durch die Wiederholung der Themen zu zeigen: In der Mittelstufe Physik habt ihr schon einiges über physikalische Inhalte, Denk- und Arbeitsweisen gelernt und ihr könnt das auch heute noch, auch wenn ihr ggf. einen kleinen Hinweis benötigt.

3.2. Zeitpunkt der Durchführung im Schuljahr

Da die Escape Box als Wiederholung von Unterrichtsthemen der Mittelstufe Physik eingesetzt wird, sollte die Escape Box gegen Ende der 10. Klasse durchgeführt werden. Zu diesem Zeitpunkt sind alle in der Escape Box enthaltenen Rätsel thematisch bekannt. Ein guter Zeitpunkt für die Durchführung wäre nach der Notenkonferenz, wenn die im Bildungsplan verorteten Themen bereits behandelt sind. Die Escape Box stellt eine Abwechslung zum herkömmlichen Unterricht dar und ist ein positiver Abschluss für das Schuljahr wie auch für die Mittelstufe Physik. Soll die Escape Box die Kurswahl der Schüler*innen für die Oberstufe beeinflussen, kann die Durchführung bereits gegen Ende des ersten Halbjahres stattfinden. Diese Masterarbeit hat jedoch keine stichhaltigen, wissenschaftlichen Erkenntnisse darüber, ob die entwickelte Escape Box Physik nachhaltig die Motivation und Leistungsfähigkeit der Schüler*innen verbessert.

Für die Durchführung der Escape Box Physik wird eine Doppelstunde mit 90 min benötigt. Die reine Durchführungsdauer beträgt 60 min, die restlichen 30 min werden für die Einführung und den Abbau verwendet. Obwohl die Rätsel inhaltlich auf Themen von der 7. bis zur 10. Klasse Physik aufbauen, können die Rätsel zum Anknüpfen und Vertiefen in einer nachfolgenden Physikstunde aufgegriffen werden.

3.3. Anforderungen der Escape Box Physik für den Bildungsbereich

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Escape Box soll vielfältigbar sein, sodass mit einer maximalen Klassengröße von 30 Personen alle Schüler*innen teilhaben können. Die für die Umsetzung benötigten Materialien sollen in die Escape Box passen, sodass Transport, Auf- und Abbau sowie Lagerung möglichst unkompliziert sind. Zudem benötigt die Escape Box ein klares Lernziel, welches ihren Einsatz im Unterricht rechtfertigt. Des Weiteren gelten für die Rätsel und die Escape Box bestimmte Anforderungen, sodass es überhaupt zu einem Einsatz im Unterricht kommen kann. Diese Anforderungen, welche sich von einem herkömmlichen Escape Game im Freizeitbereich unterscheiden, sind nachfolgend aufgelistet:

1. die Escape Box enthält Themen der Mittelstufe Physik aus dem Bildungsplan Baden-Württemberg für allgemeinbildende Gymnasien [16]
2. die Escape Box beschäftigt mehrere Schüler*innen (3-5 Personen)
3. die Escape Box enthält experimentelle Elemente
4. die Rätsel sind kostengünstig
5. die Rätsel sind klein und handlich
6. die Herstellung der Rätsel ist einfach und zeitsparend

7. die Rätsel sind nachhaltig, wiederverwendbar
8. die Rätsel sind innerhalb einer gewissen Zeit lösbar und klar terminiert
9. alle verwendeten Rätsel und Materialien sind konform mit den Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) [31]

Mit Blick auf das Lernziel „Wiederholung von physikalischen Themen der Klassenstufe 7-10 sowie Motivationssteigerung“, ist der erste Anforderungspunkt sinnvoll. Nur wenn die Rätsel Themen der Mittelstufe Physik widerspiegeln, ist eine Wiederholung dieser Themen möglich. Die Motivationssteigerung soll durch das Wiedererkennen und das erfolgreiche Lösen der Rätsel erzielt werden. Diese Arbeit fokussiert aus Gründen der lokalen Nähe auf den Bildungsplan Physik BW. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass die Escape Box auch für andere Bundesländer geeignet ist, was im Einzelfall überprüft werden müsste.

Das Konzept des Escape Games soll eine Klasse mit bis zu 30 Schüler*innen gleichzeitig beschäftigen. Je mehr Schüler*innen als Gruppe zusammen an einer Escape Box arbeiten, desto weniger Escape Box Stückzahlen werden benötigt. Dies ist vorteilhaft für die Lagerung der Escape Boxen und die Herstellungskosten. Deswegen ist Anforderungspunkt 2 an die Escape Box Physik so gewählt, dass eine Gruppe von bis zu fünf Schüler*innen zusammenarbeitet. Mit insgesamt sechs Escape Boxen ist es damit möglich, eine ganze Klasse parallel arbeiten zu lassen.

Mit dem Experiment als „unverzichtbarer Bestandteil des Physikunterrichts“ [3] ist eine Anforderung an die Escape Box, dass möglichst viele experimentelle Elemente vorhanden sind. Dadurch wird das Fach Physik nicht nur thematisch abgebildet, sondern auch die physikalischen Denk- und Arbeitsweisen vermittelt. Experimentelle Herangehensweisen fördern zudem das eigenständige Arbeiten der Schüler*innen.

Lehrkräften in Schulen steht ein begrenztes Budget zur Verfügung, mit welchem sie in die Ausstattung der Fachräume investieren können. Dieses Budget ist oft nicht ausreichend um neue, teurere Geräte zu kaufen. Aus diesem Grund soll die Escape Box kostengünstig herzustellen sein. Eine Abschätzung über die entstehenden Kosten für eine Escape Box ist in Anhang A.1 aufgelistet.

Neben einem begrenzten Budget ist auch der Platz in Schulen oft knapp. Da die Escape Boxen mit einer Klasse genau einmal durchgeführt werden, müssen sie in der Zwischenzeit gelagert werden, bis die nächste 10. Klasse für die Durchführung bereit ist. Um diesen Bedarf an Lagerplatz so klein wie möglich zu halten, soll jedes Rätsel für sich klein und handlich sein. Neben der Lagerung der Escape Boxen an der eigenen Schule wäre es möglich, einen zentralen Ort mit einem Bestand von sechs Escape Boxen zur Verfügung zu stellen (z.B. bei einem Schülerlabor). Verschiedene Schulen, die im Umkreis zu diesem Bestand liegen, können nach Absprache die Escape Boxen ausleihen, an der eigenen Schule durchführen und danach wieder zurückbringen. Da zu diesem Zeitpunkt nicht klar ist, ob die Escape Box schlussendlich an einer Schule oder an einem zentralen Ort gelagert wird, sollen die Maße möglichst klein sein und wenig Lagerplatz beanspruchen.

3. Vorüberlegungen zur Konzeption und Entwicklung der Escape Box Physik

Lehrkräfte, welche die Escape Box Physik nachbauen wollen, sollen wenig Zeitaufwand damit haben. Dies geht nur, wenn die Rätselherstellung einfach und schnell geht. Dafür können bspw. Vorlagen von 3D-Druck Modellen verwendet oder Kästen mit dem Lasercutter hergestellt werden. Durch das Schulfach Naturwissenschaft und Technik in BW haben einige Schulen bereits 3D-Drucker, weniger Schulen besitzen eine CNC-Fräse oder einen Lasercutter. Vorteilhaft ist, dass das Filament von 3D-Druckern oder verwendete Sperrholzplatten kostengünstig sind und damit auch Anforderungspunkt 4 erfüllen.

Als weiteren Anforderungspunkt sollen die Rätsel der Escape Box nachhaltig, bzw. wiederverwendbar sein. Manche Escape Games, wie bspw. die EXIT-Spiele von Kosmos [7], können genau ein Mal gespielt werden und sind danach unbrauchbar, da während des Spiels Materialien verändert oder zerstört werden um bestimmte Rätsel zu lösen. Dies soll in der Escape Box Physik explizit vermieden werden. Zerstörtes Material würde für die Lehrkräfte einen Mehraufwand bedeuten, da sie vor oder nach jedem Durchlauf die Box mit neuem, unversehrtem Material versehen müssten. Wiederverwendbares Material kann bspw. realisiert werden, indem Rätsel, welche Beschriftung benötigen, laminiert werden.

Nach Anforderungspunkt 8 sollen die Rätsel innerhalb einer gewissen Zeit lösbar und klar terminiert sein. Dies ist kein allzu großer Unterschied zu herkömmlichen Freizeit Escape Games, da in beiden Fällen ein Zeitlimit von meist 60 min vorgegeben ist. Sind die Rätsel zu schwer oder zu leicht, kann der zeitliche Rahmen nicht eingehalten werden. Außerdem soll es für die Schüler*innen klar erkennbar sein, wann ein Rätsel zu Ende ist, oder was für das Lösen eines Rätsels benötigt wird. Dieser Anforderungspunkt ist eine Herausforderung in der Entwicklung, da nicht genau eingeschätzt werden kann, wie lange die Schüler*innen benötigen, um ihnen unbekannte Rätsel zu lösen.

Um den Einsatz der Rätsel in der Schule zu gewährleisten, müssen alle Vorgaben gemäß der Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) eingehalten werden. Dies ist bspw. beim Einsatz von Lasern und Spannungsquellen zu beachten.

4. Der strukturelle Aufbau und die Rätsel der Escape Box Physik

Das folgende Kapitel behandelt den finalen Aufbau der Escape Box Physik, sowie den vorgesehenen Ablauf bei einer Durchführung. Es wird erklärt, wie die verschiedenen Rätsel, eingebettet in eine Rahmengeschichte, zusammenhängen und wie sie zu lösen sind. Die Rätsel werden zudem auf die zuvor erarbeiteten Anforderungskriterien geprüft und um mögliche Fehlvorstellungen der Schüler*innen bezüglich des Rätsel-Themas ergänzt.

4.1. Aufbau und Struktur der Escape Box Physik

Die Escape Box Physik besteht aus einer großen Rätselbox, welche vier weitere, kleinere Rätsel-Boxen beinhaltet. Jede Box ist mit einem Schloss gesichert und enthält ein bis drei Rätsel. Insgesamt sind in der Escape Box zehn physikalische Rätsel untergebracht. Eine sechste, kleine Box enthält die Auflösung mit dem „Gewinn“. Bevor die Schüler*innen mit der Escape Box starten, werden allgemeine Regeln und Hinweise für die Durchführung besprochen (siehe Anhang A.2). Danach beginnt die Escape Box mit einem Einleitungstext, welcher von der Lehrkraft oder von den Spieler*innen vorgelesen wird, und die folgende Situation beschreibt:

Die φsiker: Über verschiedene Ecken habt ihr erfahren, dass es einen Geheimbund φsik in eurer Schule gibt. Man munkelt, dass die geheimen Treffen nachmittags im Physikraum stattfinden. Zusammen mit euren Freunden wollt ihr diesem Geheimbund beitreten und trefft beim Betreten des Physikraumes auf eine komische Box. Plötzlich fällt die Tür laut ins Schloss und ein Countdown startet. Eine verzerrte Stimme sagt: „Wollt ihr dem Geheimbund φsik beitreten, dann müsst ihr euch als würdig erweisen und alle von uns gestellten Rätsel lösen. Nur wenn ihr alle Rätsel innerhalb von 60 min schafft, können wir eure Aufnahme garantieren. Wenn ihr versagt, werden wir euer unerlaubtes Betreten der Rektorin melden.“ Mit der verschlossenen Tür und dem Countdown bleibt euch nur eines übrig: Ihr gruppiert euch um die Box und legt los!

Sobald dieser Text vorgelesen wurde, wird ein Countdown gestartet, welcher von 60 min herunterzählt. Gleichzeitig beginnen die Schüler*innen mit dem Lösen der Rätsel. Abbildung 4.1 zeigt die Escape Box zu Beginn des Escape Games, mit dem Anfangsrätsel auf dem Deckel. Die große Escape Box in Abbildung 4.1 ist mit „Box 1“ beschriftet, alle weiteren Boxen sind kleiner und in Box 1 enthalten. Die Reihenfolge der Boxen ist beschriftet, für eine klare Struktur bei der Durchführung. Auch wenn dies nicht unbedingt nötig

4. Der strukturelle Aufbau und die Rätsel der Escape Box Physik

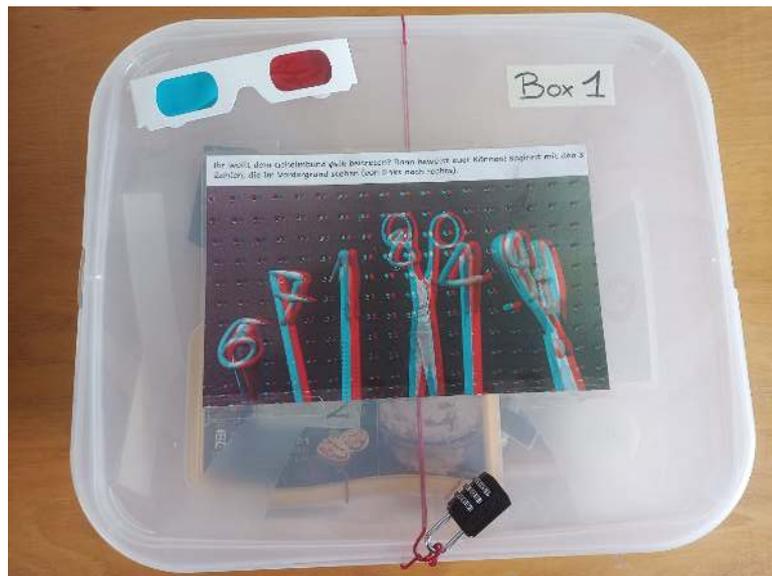


Abbildung 4.1.: Die zu Beginn verschlossene Escape Box Physik mit dem Anfangsrätsel auf dem Deckel.

wäre, hat sich in den ersten Test-Durchführungen gezeigt, dass eine fehlende Vorgabe der Reihenfolge zu deutlichem Zeitverlust führt. Auch innerhalb der Boxen sind die Anzahl der Rätsel, sowie deren Zusammenspiel um das nächste Schloss zu öffnen, klar beschrieben, da dies ein maßgebender Faktor für die Durchführungszeit ist. Die zehn Rätsel sind wie in Abbildung 4.2 dargestellt, auf die fünf Rätselboxen aufgeteilt.

Die ersten drei Rätsel in Box 1 müssen in einer bestimmten Reihenfolge hintereinander gelöst werden. Dabei sind die beiden Optik Rätsel zu **3D Sehen** und **Schattenphänomene** experimenteller Natur, während das **Kreuzworträtsel** theoretisch gelöst wird. Mit dem dritten Rätsel **Schattenphänomene** kann das Schloss an Box 2 geöffnet werden, in welcher ein Rätsel zum Thema **Farbaddition** zu finden ist. Dies entspricht einer sequentiellen Rätselanordnung (vgl. Abb. 2.1). Sobald die Schüler*innen Box 3 geöffnet haben, finden sie zwei Rätsel zum Thema Kernphysik vor. Das eine Rätsel zum Thema **Atomaufbau** benötigt eine experimentelle Herangehensweise, das andere Rätsel behandelt **Zerfälle** und wird theoretisch gelöst. Die Schüler*innen können diese zwei Rätsel parallel bearbeiten, was eine gute Absprache im Team und kollaboratives Arbeiten benötigt. Eine Prototypen-Version der Escape Box hatte mehr parallele Rätsel in der Escape Box vorgesehen. Tests mit der Zielgruppe haben jedoch gezeigt, dass die Schüler*innen oft ein Rätsel nach dem anderen bearbeiten, weshalb sie die Escape Box aus Zeitmangel nicht bis zum Ende durchführten. In der finalen Version wurde deswegen die Anzahl an parallel zu bearbeitenden Rätsel reduziert, gleichzeitig aber nicht komplett weggelassen, um leistungsfähigeren Gruppen die Möglichkeit zu geben, parallel und damit schneller zu arbeiten. Aber auch wenn die Gruppe alle Rätsel zusammen bearbeitet, muss die Escape Box in der vorgegebenen Zeit machbar sein. Um das Schloss an Box 4 zu öffnen werden beide Rätsel aus Box 3 benötigt. In Box 4 befinden sich zwei experimentelle Rätsel zu **Induktion** und zur **Zentripetalkraft**, während das dritte Rätsel zu **Akustik** ein theoretisches Rätsel darstellt. Diese parallele

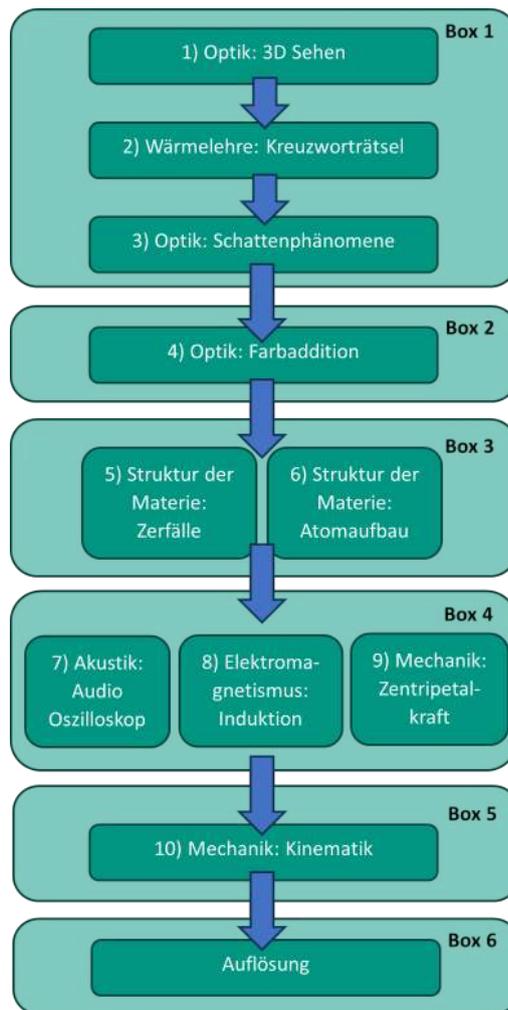


Abbildung 4.2.: Überblick über die Rätselabfolge der Escape Box Physik. Überwiegend sind die Rätsel (dunkelgrüne Kästen) in einem sequentiellen Pfad angeordnet. Die parallel zu bearbeitenden Rätsel in Box 3 und Box 4 stellen eine Form der offenen Rätselanordnung dar.

Anordnung der Rätsel entspricht einem offenen Pfad. Werden die Lösungen aller drei Rätsel aus Box 4 kombiniert, ergibt sich eine Lösungszahl, welche das Schloss an Box 5 öffnet. In dieser befindet sich ein etwas abstrakteres, theoretisches Abschlussrätsel zum Thema **Kinematik**, welches die Zusammenarbeit und die physikalische Analyse und Interpretation der Schüler*innen herausfordert. Wird dieses innerhalb von 60 min richtig gelöst, wird die Zeit gestoppt und die Schüler*innen können Box 6 mit der **Auflösung** und dem Gewinn öffnen. Hier wird wieder ein Bogen zum Einleitungstext mit der Rahmengeschichte gespannt, indem die Schüler*innen beglückwünscht werden nun offizielle Mitglieder des Geheimbundes ϕ sik zu sein.

Insgesamt beinhaltet die Escape Box sechs Rätsel, welche experimentelle Fähigkeiten benötigen und vier Rätsel, welche theoretisch aufgebaut sind. Die zentrale Rätselart ist kognitiv, wobei motorische Fertigkeiten durchaus von Vorteil sein können. Zu jedem

Rätsel gibt es zusätzlich eine Hinweiskarte, welche auf der Vorderseite mit dem Bild des Rätsels und der Boxnummer kenntlich gemacht ist. Die Hinweiskarten dürfen sich die Schüler*innen jederzeit durchlesen, sobald sie bei dem entsprechenden Rätsel angekommen sind und dieses ohne Hilfe nicht lösen können. Auf der Rückseite der Hinweiskarten stehen hilfreiche Informationen, die entweder vorhandene physikalische Wissenslücken schließen sollen oder welche Tipps geben, um das Rätsel zu lösen. Es gibt keinen Zeitabzug oder andere Bestrafungen, da die Schüler*innen durch das zu Hilfe nehmen der Hinweiskarten dem Lernziel näher kommen. Wenn Lehrkräfte die Escape Box in einem Rahmen mit Wettbewerbscharakter umsetzen wollen, können sie die Anzahl an benutzten Hinweiskarten pro Gruppe mitverfolgen oder einen Zeitabzug geben. Alle Hinweiskarten sind in Anhang A.5 zu finden.

Offiziell wird nach 60 min der Countdown gestoppt. Gruppen, welche die Escape Box bis dahin nicht bis zur Auflösung geschafft haben, scheitern an der Aufgabe in den Geheimbund ϕ sik aufgenommen zu werden. Situationsbedingt kann der Countdown um einige Minuten verlängert werden, wobei darauf geachtet werden sollte, die 90 min der Unterrichtszeit nicht zu überschreiten. Zum Schluss dürfen alle Gruppen ihre Escape Box wieder in den Anfangszustand versetzen, sodass sie für nachfolgende Gruppen einsatzbereit ist. Dafür folgen sie der Abbau-Anleitung (siehe Anhang A.6), bei welcher mit non-permanent Marker beschriftete Folien gereinigt und alle Materialien zurück in ihre jeweiligen Boxen gelegt werden.

4.2. Die Rätsel der finalen Escape Box im Detail

Nachfolgend werden die Rätsel in der Reihenfolge beschrieben, wie sie im Ablauf der Escape Box zum Einsatz kommen. Mit dem Hauptaugenmerk auf der Konzeption der Rätsel soll zudem deren Eignung hinsichtlich der aufgestellten Anforderungskriterien (vgl. Kapitel 3.3) geprüft werden. Ebenso wird, wo möglich, ein kleiner Ausblick auf bestehende Schülervorstellungen oder Lernschwierigkeiten gegeben, welche im Zusammenhang mit dem Rätsel stehen. Alle für die Rätsel benötigten Materialien und Dokumente finden sich in Anhang A.4.

4.2.1. Optik: 3D Sehen

Als einfaches, schnelles und motivierendes Anfangsrätsel sollen die Schüler*innen auf einem 3D Bild (Anaglyphenbild) erkennen, welche drei Zahlen sich im Vordergrund befinden. Dazu schauen sie das Bild in Abbildung 4.3 mit einer rot-cyan Brille an und vergleichen die räumliche Tiefe der dargestellten Zahlen miteinander. Als Lösung erhalten sie die Zahlen 1, 4 und 9, welche das Schloss an Box 1 öffnen. Das 3D Bild wurde mit Hilfe des Programms *Anaglyph Maker* [32] aus zwei Digitalbildern der gleichen Szene generiert, welche ungefähr im Abstand der Augen aufgenommen werden. Mit der passenden Rot-Cyan Filterbrille sieht jedes Auge entweder nur das rote oder nur das cyane Bild, woraus

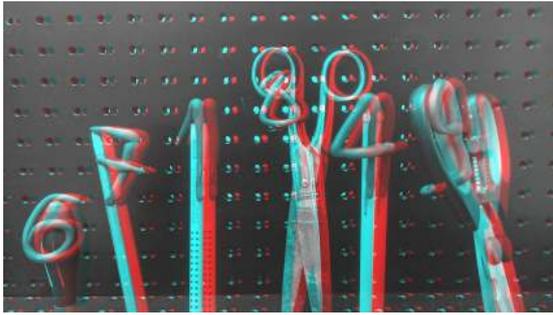


Abbildung 4.3.: Anaglyphenbild in welchem sechs Zahlen aus Knete in unterschiedlicher räumlicher Tiefe angebracht sind.



Abbildung 4.4.: Originalbild für die Entwicklung des Anaglyphenbildes. Das Bild entspricht der Aufnahme des linken Auges.

das Gehirn ein überlagertes 3D Bild konstruiert. Das Originalbild mit den Knete-Zahlen ist in Abbildung 4.4 dargestellt.

Mit Blick in den Bildungsplan Physik BW ist der Sehvorgang und die Wahrnehmung eines Bildes dort nicht verortet. Viel mehr findet sich die Seh- und Wahrnehmung im Bildungsplan Biologie der Klassenstufe 11/12 wieder [33]. Dieses Rätsel wird dennoch als Anfangsrätsel gewählt, da es durch seinen eindrucksvollen, motivierenden Einstieg Lust auf die weiteren Rätsel in der Escape Box macht und Bezug zu optischer Physik aufweist. Für die Lösung wird kein fachliches Hintergrundwissen benötigt. Nach der Durchführung der Escape Box, kann der Sehvorgang als Anknüpfung für interdisziplinären naturwissenschaftlichen Unterricht genutzt werden. Um das Rätsel zu vervielfältigen wird eine Rot-Cyan Brille benötigt und das ausgedruckte Anaglyphenbild. Bis auf den Bildungsplanbezug sind alle Anforderungen an das Rätsel der Escape Box erfüllt.

Anforderungen an das Rätsel Optik: 3D Sehen

- X Bildungsplanbezug
- ✓ Kostengünstig: 1€
- ✓ klein und handlich: leicht, Papier
- ✓ einfache Reproduktion: drucken, 3D Brille kaufen
- ✓ nachhaltig: wiederverwendbar, laminiert
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungszahlen 149, Rätselzeit ~1 min
- ✓ RiSU konform

4.2.2. Wärmelehre: Kreuzworträtsel

In vielen experimentellen Rätseln der Wärmelehre wird Wasser oder Hitze eingesetzt, wofür ein geeigneter Raum benötigt wird. Da die Escape Box unabhängig von externen Faktoren machbar sein soll, ist die Wärmelehre in Form eines **Kreuzworträtsels** vertreten,

nach [34]. Das Kreuzworträtsel ist außen an Box 1 angebracht, die zugehörigen Fragen befinden sich innerhalb der Box. Dies stellt sicher, dass die Schüler*innen zuerst das Rätsel mit dem Anaglyphenbild lösen, bevor sie mit dem Kreuzworträtsel weitermachen. Die zugehörigen Fragen sind eher einfach und betreffen die Grundlagen der Wärmelehre, welche auch im Bildungsplan Physik zu finden sind [16]. Dies soll den Schüler*innen gleich zu Beginn ein weiteres Erfolgserlebnis geben, welches sie motiviert.



Abbildung 4.5.: Kryptex bzw. Buchstabenrolle. Mit dem Code „DAMPF“ lässt sich der Zylinder entfernen. Darin sind Anweisungen und Figuren für das Rätsel **Schattenphänomene** versteckt.

Ist das Kreuzworträtsel gelöst, erhalten die Schüler*innen das Lösungswort „DAMPF“, welches sie bei dem Kryptex bzw. der Buchstabenrolle (vgl. Abb. 4.5) einstellen. Die Verknüpfung zwischen Kryptex und Kreuzworträtsel wird durch ein π kenntlich gemacht, welches sowohl auf dem Kryptex als auch auf dem Kreuzworträtsel zu finden ist. Das Lösungswort „DAMPF“ ist so gewählt, dass es einen Bezug zum Thema Wärmelehre aufweist. Andere Wörter oder Namen wären ebenso denkbar. Die einzige Einschränkung für das Lösungswort ist, dass das hier verwendete Kryptex nur Buchstaben von A bis P aufweist. Das Kryptex ist ein aus Dan Brown's *The Da Vinci Code* erfundenes Gerät, welches nach dem Prinzip eines Zahlenschlosses funktioniert.

Anforderungen an das Rätsel Wärmelehre: Kreuzworträtsel

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.3.3 Wärmelehre, (1)-(3)
- ~ Kostengünstig: 7€
- ✓ klein und handlich: leicht, Papier, PLA
- ✓ einfache Reproduktion: drucken, 3D drucken
- ✓ nachhaltig: Kreuzworträtsel laminiert
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungswort „DAMPF“, Rätselzeit ~5 min
- ✓ RiSU konform

Auf fünf Ringen sind Buchstaben von A bis P angebracht. Werden diese in die richtige Einstellung gebracht, kann das Buchstabenschloss geöffnet werden. Im Unterschied zum herkömmlichen Zahlenschloss ist der Zylinder der Kryptex innen hohl und dient als Geheimversteck [35]. Eine kostengünstige Herstellung der Kryptex ist durch einen 3D Druck

möglich [36], mit ungefähr 7€ Materialkosten. Im Vergleich dazu kosten kommerzielle Kryptex um die 200€ [37]. Falls kein 3D Drucker vorhanden ist, kann auf ein Buchstaben-schloss, welches eine weitere Box sichert, zurückgegriffen werden. Die Faszination der Schüler*innen, das Kryptex zu decodieren und das Geheimversteck zu öffnen, sollte dabei nicht vernachlässigt werden.

In der Hinweiskarte zum Kreuzworträtsel finden die Schüler*innen Tipps zu den drei Aggregatzuständen sowie zu den anderen Fragen, welche für das Lösungswort benötigt werden. Ebenso ist die Antwort „Fahrenheit“ in der Hinweiskarte gegeben, da davon ausgegangen wird, dass einige Schüler*innen nicht wissen, wie Fahrenheit geschrieben wird.

4.2.3. Optik: Schattenphänomene

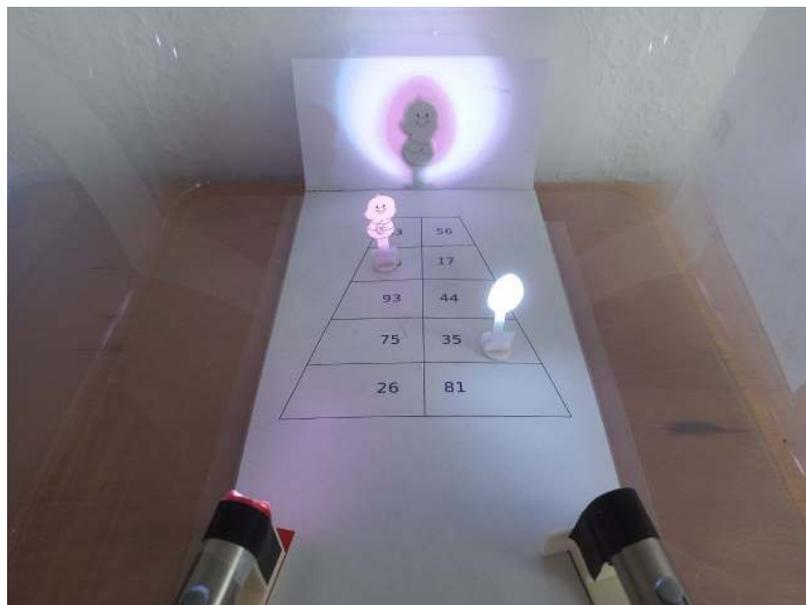


Abbildung 4.6.: Aufbau des Rätsels **Schattenphänomene**. Stehen die Pappe Figuren und die Taschenlampen auf den richtigen Feldern, wird die am Schirm (senkrecht zum Tisch) abgebildete Zeichnung durch Schatten und Halbschatten rekonstruiert.

Auf dem Boden von Box 1 ist ein Blatt Papier mit Feldern angebracht. Senkrecht dazu ist ein „Schirm“ mit schattenhaftem Küken im Ei. In der Kryptex finden die Schüler*innen Pappe-Figuren eines Kükens und eines Eis, sowie einen Aufgabentext. Dieser weist die Schüler*innen an, das Pappe-Küken und -Ei sowie die zwei in Box 1 liegenden Taschenlampen auf die richtigen Felder zu stellen. Schlussendlich soll das schattenhafte Bild auf dem Schirm, als Schatten der Pappe Figuren rekonstruiert werden. Dazu stellen die Schüler*innen die Taschenlampen, eine mit rotem Licht und eine mit weißem Licht, auf die vorgesehenen Felder. Die Pappe Figuren werden experimentell so positioniert, dass das Pappe-Küken einen Kernschatten und das Pappe-Ei einen roten Halbschatten, in der

richtigen Größe, auf den Schirm wirft (vgl. Abb. 4.6). Die dreistellige Lösungszahl erhalten die Schüler*innen, indem die auf den ausgewählten Feldern stehenden Zahlen addiert werden. Das wissen die Schüler*innen aus der Aufgabenstellung, welche in der Kryptex versteckt ist. Damit wird das Schloss an Box 2 geöffnet.

Um dieses Rätsel nachzubauen, müssen Küken und Ei mit der Druckvorlage aus Pappe ausgeschnitten werden. Die Halterungen der Pappe-Figuren und der Taschenlampen sind 3D gedruckt. Die Vorlage für die Felder und die Abbildung auf dem Schirm wird ausgedruckt, wobei der Schirm senkrecht zu den Feldern steht. In diesem Beispiel ist der Schirm an die Seite von Box 1 geklebt. Das Rätsel hat direkten Bezug zum Bildungsplan Physik BW, in welchem „(5) Schattenphänomene experimentell untersuchen und erklären (Schattenraum und Schattenbild, Kernschatten und Halbschatten)“ [16] als Lernziel für Klassenstufe 7/8 steht. Das teure an diesem Rätsel sind die hier gewählten Taschenlampen für insgesamt 14€. Um Blendungen zu vermeiden, sollten die Schüler*innen nicht direkt in

Anforderungen an das Rätsel Optik: Schattenphänomene

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.2.2 Optik und Akustik, (5)
- ~ Kostengünstig: 14€
- ✓ klein und handlich: leicht, Papier, Plastikhalterungen
- ✓ einfache Reproduktion: drucken, schneiden, 3D gedruckte Halterungen
- ✓ nachhaltig: wiederverwendbar
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungszahl 188, Rätselzeit ~7 min
- ✓ RiSU konform

das Licht der Taschenlampen schauen. Für das „rote Licht“ wird in diesem Rätsel ein Farbfilter verwendet, welcher durch rote Farbe auf Frischhaltefolie kostengünstig hergestellt wurde. Die Idee für dieses Rätsel basiert auf einer Aufgabenstellung im Buch *Universum Physik Baden-Württemberg 7/8* [38].

Die theoretische, physikalische Grundlage für dieses Rätsel ist das Wissen um Kernschatten und (farbigen) Halbschatten. Falls dieses Wissen aus Klasse 7/8 nicht mehr vorhanden ist und die experimentelle Umsetzung Schwierigkeiten bereitet, können die Schüler*innen den zugehörigen Hinweis lesen. In der Hinweiskarte ist der Zusammenhang zwischen Halbschatten und Kernschatten erläutert, bzw. welche Lichtquelle welchen Schattenraum nicht erleuchtet. Diese Formulierung wird aufgrund der teilweise vorhandenen Fehlvorstellung gewählt, dass Schatten eine zum Objekt gehörige Substanz ist, anstatt von fehlendem Licht [39]. Ein möglicher Ansatz diese Fehlvorstellung abzubauen, ist das *Prinzip Ameise*. Dabei nehmen die Schüler*innen die Rolle einer Ameise ein, die durch den Schatten läuft [40]. In einem Kernschatten sieht die Ameise dabei keinerlei Lichtquelle, während sie in einem roten Halbschatten die rote Lichtquelle sieht. Die Schüler*innen erkennen, dass Halbschatten durch die An- und Abwesenheit von mehreren Lichtquellen entstehen. Andere Schülervorstellungen sind, dass Licht eingefärbt werden kann, wenn es bspw. durch einen Filter hindurchgeht und nach dem Filter die gleiche Intensität aufweist wie der Original Lichtstrahl. Das nachfolgende Rätsel soll dabei helfen, die letzte Fehlvorstellung abzubauen.

4.2.4. Optik: Farbaddition

In der geöffneten Box 2 befindet sich ein Text mit der Fragestellung „Was ergibt weiß?“ sowie ein Farbmischer (vgl. Abb. 4.7). Der Farbmischer besteht aus einer RGB LED und drei Tastern (unter den Schraubenköpfen), welche einzeln gedrückt die LED in den Farben Rot, Grün und Blau leuchten lassen. Zwei gleichzeitig gedrückte Taster ergeben die additiven Mischfarben Cyan (=Blau und Grün), Magenta (=Blau und Rot) oder Gelb (=Rot und Grün). Werden alle drei Taster gleichzeitig gedrückt, entsteht weißes Licht. Der Farbmischer dient den Schüler*innen als Hilfsmittel, um das **Farbadditionsrätsel** zu lösen. Dafür müssen sie herausfinden, welche Kombinationen weißes Licht ergeben. Als Beispiel ergibt die Kombination von Rot und Cyan weißes Licht, da in Cyan die Grundfarben Blau und Grün der additiven Farbmischung enthalten sind. Der Kombination von Gelb mit Grün hingegen fehlt der blaue Farbanteil und gleichzeitig ist Grün zu intensiv gemischt, als dass es weißes Licht werden könnte. Die Schüler*innen prüfen systematisch jede Kombination, ob für weißes Licht alle RGB Anteile gegeben sind. Hinter jeder Kombination steht ein Buchstabe, wodurch das Lösungswort „CURIE“ gebildet wird. Dies öffnet das an Box 3 angebrachte Buchstabenschloss.

Thematisch wird die Farbaddition laut Bildungsplan Physik BW in der Klassenstufe 7/8 behandelt, mit der Formulierung „(12) einfache Experimente zur Zerlegung von weißem Licht und zur Addition von Farben beschreiben (Prisma)“ [16]. Es wurde davon ausgegangen, dass die meisten Schüler*innen sich unter Zeitdruck nicht an die Grundfarben und Mischfarben der additiven Farbmischung erinnern können, weshalb der Farbmischer experimentell unterstützen soll. Die Herstellung des Farbmischers ist der aufwändigste Teil des Rätsels. Zuerst wird die elektrische Schaltung gelötet welche anschließend in einen Holzkasten integriert wird. Herausfordernd ist an dieser Stelle, dass an jeder LED der RGB LED eine andere Spannung abfällt. Um die Mischfarben korrekt zu erzeugen, müssen die Farben im gleichen Intensitätsverhältnis gemischt werden.

Anforderungen an das Rätsel Optik: Farbaddition

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.2.2 Optik und Akustik, (12)
- ~ Kostengünstig: 8€
- ✓ klein und handlich: leicht, Holzkasten, 3 Taster, 3 Widerstände und 1 RGB LED
- ~ einfache Reproduktion: elektronische Schaltung löten, Holzkasten fertigen
- ✓ nachhaltig: wiederverwendbar, Batterie-betrieben
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungswort „CURIE“, Rätselzeit ~10 min
- ✓ RiSU konform: 9 V Batterie

Dies wird realisiert, indem an jeder LED ein passender Vorwiderstand angebracht wird. Abbildung 4.8 zeigt, wie die reale Schaltung mit unterschiedlichen Vorwiderständen aussieht. Ausführlich ist die Schaltung in Anhang A.4 nachzulesen. Zudem hilft ein Tropfen Heißkleber über der RGB LED, um mithilfe von Streuung die Farben der leuchtenden LEDs



Abbildung 4.7.: Farbmischer für das optische Rätsel **Farbaddition**. Die Schrauben kleben auf darunter liegenden Tastern.

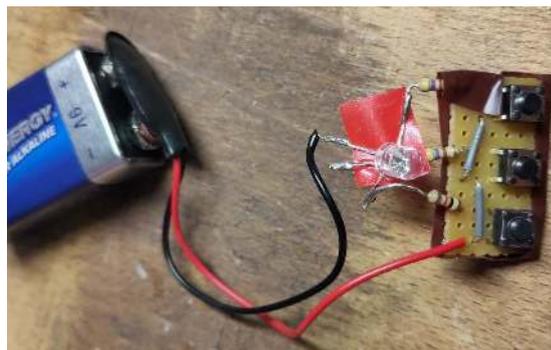


Abbildung 4.8.: Schaltung des Farbmischers. Die RGB LED wird über drei Taster gesteuert mit geeigneten Vorwiderständen.

besser zu mischen. Für viele Personen bestand bei der Durchführung eine Herausforderung darin, dass die Schrauben gedrückt werden müssen. Dies erscheint unintuitiv, da Schrauben im Alltag als kraftschlüssige Verbindungen bekannt sind. Deswegen werden für den Nachbau Drucktaster empfohlen, welche mit ungefähr 6€ teurer sind als die hier verwendeten Taster, dafür aber einfacher in einen Holzkasten integriert werden können.

Die theoretische Grundlage für das Farbadditionsrätsel ist das Wissen, dass weißes Licht aus vielen Wellenlängen besteht, welche zusammen den physikalischen weißen Farbeindruck bilden. Dazu gehört die Erkenntnis, dass weißes Licht in Farben zerlegt werden kann. In der Hinweiskarte findet sich deshalb der Tipp, welche Spektralfarben die Grundfarben der additiven Farbmischung sind und welche Mischfarben aus den jeweiligen Grundfarben entstehen können.

Die experimentelle Umsetzung des Farbmischers kann dabei helfen, Fehlvorstellungen von Schüler*innen abzubauen. Zum einen ist der Begriff Farbe nicht eindeutig. Während im Kunstunterricht Farbstoffe gemischt werden und Rot mit Grün einen Brauntönen ergeben (dies entspricht der subtraktiven Farbmischung), wird bei der additiven Farbmischung Licht gemischt. Dabei führt die Addition von roter und grüner Spektralfarbe zu gelbem Licht. Hier empfiehlt es sich nach [39] zwischen Farbstoff, Lichtfarbe und menschlicher Farbwahrnehmung zu unterscheiden. Bei den Testdurchläufen wurde diese Fehlvorstellung bestätigt, gab es doch einige Studierende, die erstaunt waren, dass gemischte Lichtfarben weißes Licht ergeben können. Andere Schülervorstellungen zur Farbaddition sind, dass Licht entweder farblos ist, oder dass es gelb sei, wodurch die Vorstellung, dass verschiedene Spektralfarben zusammen weißes Licht ergeben, abgelehnt wird [39].

4.2.5. Struktur der Materie: Zerfälle

In Box 3 befinden sich zwei Rätsel, welche beide thematisch der Kernphysik zugeordnet werden. Es gibt dabei keine verbindliche Reihenfolge, in welcher die Rätsel bearbeitet

werden müssen. Paralleles Arbeiten könnte, wie schon erwähnt, hier zu einem zeitlichen Vorteil führen. Um das fünfstellige Schloss an Box 4 zu öffnen, sind die Lösungen von beiden Rätseln erforderlich.

Im theoretischen **Zerfallsrätsel** ist die Radon-Zerfallsreihe dargestellt, wobei an einigen Stellen die Massenzahl A und die Kernladungszahl Z der Elemente fehlen (vgl. Abb. 4.9). Aufgabe der Schüler*innen ist es, die Zerfallsreihe zu vervollständigen und die fehlenden Massenzahlen und Kernladungszahlen zu ergänzen. Für das Schloss an Box 4 benötigen sie dabei lediglich die Kernladungszahl von Bismut, welche $Z = 83$ beträgt. Als Hilfestellung, um den Radon-Zerfall zu rekonstruieren, finden die Schüler*innen beispielhafte α , β und γ Zerfälle an Box 1 angebracht sowie eine Skizze, welche die Kernladungszahl Z und Massenzahl A erklärt. Auf diese Hilfestellung wird in der Hinweiskarte auch hingewiesen, sollten die Schüler*innen sie übersehen. Das Zerfallsrätsel knüpft an die Rahmengeschichte an, indem ein Mitglied des Geheimbundes ϕ sik Radon in seinem Keller nachweist. Daraufhin muss ein Assistent des Geheimbundes den Zerfall des Radons dokumentieren.

Das Rätsel dient der Wiederholung von radioaktiven Zerfällen, welche in Klassenstufe 9/10 laut Bildungsplan Physik BW behandelt werden: „(2) Kernzerfälle und ionisierende Strahlung beschreiben (Radioaktivität, α -, β -, γ -Strahlung, Halbwertszeit)“ [16]. Da das Rätsel auf Papier gelöst wird, ist die Herstellung preiswert. Für die Nachbildung des Rätsels wird ein Drucker und ein Laminiergerät benötigt, was im Idealfall an jeder Schule zu finden ist. Für das Schloss an Box 4 wird nur die Kernladungszahl von Bismut benötigt. Mit der Erwartung, dass die wenigsten Schüler*innen die Kernladungszahl von Bismut auswendig kennen, wird davon ausgegangen, dass die Schüler*innen das Rätsel komplett bearbeiten.

Anforderungen an das Rätsel Struktur der Materie: Zerfall

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.2.4 Struktur der Materie, (2)
- ✓ Kostengünstig: <1€
- ✓ klein und handlich: leicht, Papier
- ✓ einfache Reproduktion: drucken
- ✓ nachhaltig: wiederverwendbar, laminiert
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungszahl ist die Kernladungszahl Bismut $Z = 83$, Rätselzeit ~ 7 min
- ✓ RiSU konform



Abbildung 4.9.: Ausschnitt aus dem **Zerfallsrätsel**. Die fehlenden Kennzahlen werden mithilfe der Notizen eines ϕ sik-Assistenten von den Schüler*innen vervollständigt.

Zudem können die Schüler*innen ihr eigenes Handeln überprüfen, da das Element Blei zweimal in der Zerfallsreihe vorkommt und beide Male die gleiche Kernladungszahl Z aufweisen muss.

Im Bereich Strahlung und Radioaktivität führen verschiedene Schülervorstellungen und unpassende Begriffsdefinitionen zu Lernschwierigkeiten. Ein Auszug dieser Schülervorstellungen und unpassenden Begrifflichkeiten ist nachfolgend aufgelistet, nach [41] zitiert nach [19].

Schüler*innen haben oft Probleme damit, die Begriffe Radioaktivität und Strahlung zu unterscheiden. Dies resultiert aus der Vorstellung, dass die Strahlung selbst radioaktiv ist oder radioaktives Material transportiert. Hilfreich ist an dieser Stelle bereits im Unterricht den Begriff radioaktive Strahlung klar zu benennen, als *Strahlung aus radioaktiven Quellen*. Des Weiteren wird dadurch auch die Fehlvorstellung abgebaut, dass ein bestrahltes Objekt selbst zum radioaktiven Strahler wird (hier zu unterscheiden von radioaktiven Partikeln, welche sich auf Gegenständen absetzen) [19].

Ein weiterer missverständlicher Begriff ist der *radioaktive Zerfall*. Dieser wird im allgemeinen Sprachgebrauch häufig verwendet und findet sich auch in Schulbüchern, kann aber zu Lernschwierigkeiten führen: Für Schüler*innen könnte der Eindruck entstehen, dass ähnlich wie bei einer Kernspaltung ein Atomkern auseinander fällt. Passender wäre es an dieser Stelle von einem *radioaktiven Übergang/Umwandlung* zu sprechen, mit der Erklärung, dass ein instabiler Kern sich in einen stabileren Zustand umwandelt [19]. Gerade mit Blick auf den γ -Übergang entsteht hierbei kein neues Nuklid, sondern das Nuklid geht in einen energetisch günstigeren Zustand über.

Die in diesem Rätsel beschriebene Radon-Zerfallsreihe ist ein Bestandteil natürlicher Radioaktivität, welche für Schüler*innen oftmals unbekannt ist. Auch mit Blick in den Bildungsplan Physik BW ist natürliche Radioaktivität nicht explizit aufgeführt (vgl. [16]). Deshalb stellen Schüler*innen sich häufig vor, dass Radioaktivität zwangsläufig zu gesundheitlichen Schäden oder zum Tod führt. Diese ängstliche Haltung resultiert teilweise aus den Medien, bildet sich aber auch durch fehlenden Alltagsbezug [19]. Mit dem hier aufgezeigten Beispiel soll den Schüler*innen verdeutlicht werden, dass natürliche Strahlung aus radioaktiven Quellen existiert. Zudem wird gezeigt, dass durch Lüften die Radonbelastung im Keller minimiert werden kann. Um die Angst vor der Radioaktivität zu nehmen kann in einer nachfolgenden Unterrichtsstunde an das Thema angeknüpft werden, indem radioaktive Quellen hinsichtlich ihrer Dosisgrößen und Aktivität als potentielle Gefahrenquellen eingestuft und untersucht werden [19]. Zudem kann mithilfe eines Gammadetektors die natürliche Strahlung aufgenommen und untersucht werden.

4.2.6. Struktur der Materie: Atomaufbau

Das Rätsel **Atomaufbau** stellt eine Analogie zum Bohrschen Atommodell dar und besteht aus einem 3D gedruckten, zylindrischen „Atom“, in welchem ein Proton, zwei Neutronen und ein Elektron untergebracht sind (vgl. Abb. 4.10). Damit bildet das Atom das Wasserstoff-Isotop Tritium ab. Die Protonen und Elektronen werden hierbei durch Neodym-Magnete

realisiert, welche mit entgegengesetzter Polung in das 3D-Druck Modell eingesetzt sind. So ist je nach Atomseite das Proton magnetisch anziehend und das Elektron magnetisch abstoßend, oder genau andersherum. Die Neutronen sind aus Papier gefertigt und dadurch nicht magnetisch. Dies wird als Analogie zu den elektrischen Eigenschaften von Protonen, Neutronen und Elektronen gehandhabt. Bei geschlossenem Deckel, wenn das Analogie-Atom gegen das Licht gehalten wird, sind die Magnete nicht von den Papier-Neutronen zu unterscheiden. Die Aufgabenstellung für die Schüler*innen findet sich auf der Atomunterseite, wobei die Schüler*innen mit Hilfe eines Magnetstabes herausfinden sollen, wie viele Protonen und Elektronen im Atom sind. Halten sie das 3D-gedruckte Atom gegen das Licht, sehen sie alle Elemente und können daraus auf die Anzahl der Neutronen schließen. Analog zum Bohrschen Atommodell befinden sich Neutronen und Protonen im Kern des Atoms und sind in diesem Rätsel etwas größer als das Elektron. Zudem haben Protonen und Elektronen eine gleich große, aber entgegengesetzte Ladung. In Abgrenzung zum Bohrschen Atommodell umkreist das Elektron den Kern in dieser Analogie nicht auf einer festen Bahn, sondern befindet sich auf einem festen Platz mit deutlichem Abstand zum Atomkern.

Mit Blick in den Bildungsplan Physik von BW findet sich der Aufbau der Materie in Kapitel „Struktur der Materie: (1) die Struktur der Materie im Überblick beschreiben und den Aufbau des Atoms erläutern (Atomhülle, Atomkern, Elektron, Proton, Neutron, Quarks, Kernladungszahl, Massenzahl, Isotope)“ [16] wieder. Bis auf die Quarks wird dieses Wissen aus Klassenstufe 9/10 benötigt, um das Rätsel zu lösen. Die Materialien 3D-Druck Filament, Neodym-Magnete und Heißkleber sind kostengünstig zu erwerben, wenn auch insgesamt teurer als andere Rätsel. Die Reproduktion des Rätsels ist etwas zeitaufwändiger, da zunächst das Modell 3D-gedrukt wird, dann die starken Magnete mit unterschiedlicher Polung eingesetzt werden und anschließend der Deckel mit Heißkleber auf das Modell geklebt wird.

Anforderungen an das Rätsel Struktur der Materie: Atomaufbau

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.2.4 Struktur der Materie, (1)
- ~ Kostengünstig: 7,60€
- ✓ klein und handlich: leicht, Plastik
- ✓ einfache Reproduktion: 3D-Druck, Heißkleben
- ✓ nachhaltig: wiederverwendbar, haltbar
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungszahl ist die Anzahl an Protonen (#1), Neutronen (#2) und Elektronen (#1) im Atom, Rätselzeit ~7 min
- ✓ RiSU konform

Zudem wird für das Rätsel noch der Magnetstab benötigt, welcher im Rätsel **Induktion** (vgl. Kapitel 4.2.8) wiederverwendet wird. Auch dieser ist 3D gedruckt, wobei drei Neodym-Magnete zum richtigen Zeitpunkt während des Druckes eingesetzt werden. Handwerkliche Fertigkeiten werden für die Vervielfältigung des Rätsels nicht benötigt.



Abbildung 4.10.: Das Rätsel **Atomaufbau** mit noch geöffnetem Deckel. Proton und Elektron sind durch jeweils einen Magneten, mit entgegengesetzter Polung, realisiert. Die zwei Neutronen sind aus Papier.

Um die RiSU Richtlinien einzuhalten wird zu Beginn der Durchführung auf versteckte, starke Magnete hingewiesen. Zudem sind diese in 3D gedrucktem Plastik untergebracht, was die Projektilwirkung abschwächt und Quetschungen vermindert.

In der physikalischen Erkenntnisgewinnung spielen Modelle und Analogien eine zentrale Rolle, um physikalische Phänomene beschreiben und interpretieren zu können [16]. Das Rätsel **Atomaufbau** ist dabei keine Ausnahme, da es durch seinen Black-Box Charakter die Schüler*innen zu physikalischen Denk- und Arbeitsweisen anregt. Es ist nicht direkt klar, was in dem Atom steckt, weshalb die Schüler*innen die augenscheinliche Plastikscheibe experimentell untersuchen und über ihre Erkenntnisse diskutieren, die sich teilweise voneinander unterscheiden. Obwohl das Rätsel inhaltliche Grundlagen abbildet und das Bohrsche Atommodell weithin bekannt ist, stellt der Transfer auf ein Objekt, in welchem die Schüler*innen nicht sehen können was sich darin verbirgt, eine deutliche Herausforderung dar. Wer an dieser Stelle den Hinweis zu Rate zieht bekommt den Tipp, das Atom gegen das Licht zu halten, um alle Objekte im Inneren des Atoms zu sehen.

Das Bohrsche Atommodell ist unter den Schülervorstellungen zum Aufbau eines Atoms eine weit verbreitete Annahme. Es ist einfach aufgebaut und enthält Elemente aus der Quantenmechanik, wie beispielsweise die Quantisierung von Energie. Allerdings kann es nicht erklären, weshalb die auf Kreisbahnen beschleunigten Elektronen keine Bremsstrahlung abgeben. Neben dem Bohrschen Atommodell entwickeln die Schüler*innen weitere individuelle Vorstellungen zum Atomaufbau, welche durch Modelle aus der Chemie oder weiterführenden Physik entstehen [42]. Eine große Dominanz zeigt jedoch das Bohrsche Atommodell, welches mit diesem Rätsel weiter gefestigt wird. Im Unterricht sollte deshalb

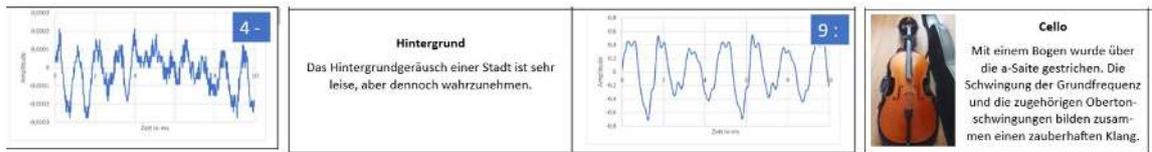


Abbildung 4.11.: Ausschnitt aus dem Rätsel **Akustikdomino**, bei welchem nach Domino Prinzip Aufnahmen von Schwingungen den richtigen Objekten zugeordnet werden müssen. Die Zahlen und Operatoren in den blauen Kästen können nach Vervollständigung des Rätsels ausgewertet werden und ergeben die Lösungszahl 2.

auf die Grenzen der Gültigkeit des Bohrschen Atommodell hingewiesen werden, falls noch nicht geschehen.

Mit der Anzahl der Elektronen, Protonen und Neutronen im Rätsel **Atomaufbau** sowie der Kernladungszahl von Bismut aus dem vorherigen **Zerfallsrätsel** können die Schüler*innen das fünfstellige, farbige Zahlenschloss an Box 4 öffnen.

4.2.7. Akustik: Domino

In Box 4 befinden sich insgesamt drei unabhängige Rätsel mit je einer Lösungszahl. Leistungsstarke Gruppen mit funktionierendem Teamwork und guter Kommunikation können hier wieder parallel arbeiten, sodass sie gegenüber anderen Gruppen einen zeitlichen Vorteil haben. Allerdings sind nicht alle Rätsel in Box 4 gleich aufwändig. Das komplizierteste Rätsel ist das **Akustikdomino**, während die anderen beiden Rätsel mit dem richtigen Ansatz sehr schnell gelöst sind. Die Praxis hat jedoch gezeigt, dass es teilweise länger dauert bis die Schüler*innen auf die richtige Idee kommen oder sich eine Hinweiskarte nehmen.

Das Rätsel **Akustikdomino** wurde mehrmals überarbeitet und ist als dritte Iteration in der finalen Escape Box gelandet. Die Prototypenentwicklung ist in Anhang A.8 aufgezeigt. Wie bei einem Domino Spiel müssen verschiedene Audio Oszilloskop-Aufnahmen mit den richtigen zugehörigen Beschreibungstexten von Instrumenten und Objekten zusammengeführt werden. Die Audio Oszilloskop-Aufnahmen zeigen dabei Töne (Schwingungen mit einer Frequenz), Klänge (überlagerte Schwingungen, mit Obertönen) und Geräusche (unregelmäßige, gezackte Schwingungen). Alle Aufnahmen wurden mithilfe der App phyphox aufgenommen [43]. Neben den Beschreibungstexten ist meistens noch ein Bild vom jeweiligen Aufnahmegegenstand abgebildet, welches die Zuordnung erleichtern soll (vgl. Abb. 4.11). Um das Rätsel schlussendlich zu lösen und genau eine Lösungszahl zu erhalten, müssen die Schüler*innen die mathematischen Rechenoperationen auf den Oszilloskop-Aufnahmen korrekt ausführen. Als Lösungszahl erhalten sie die 2, welche durch die blauen Kästen der Farbe Blau zugeordnet wird. Die Farbcodierung definiert die Reihenfolge der Lösungszahlen am Schloss von Box 5.

Akustik ist eines der ersten behandelten Themen im Physikunterricht in Baden-Württemberg. Als inhaltliche Kompetenz steht zum Thema Akustik im Bildungsplan lediglich „(1) akustische Phänomene beschreiben (Lautstärke, Tonhöhe, Amplitude, Frequenz)“ [16]. Dies zeigt, dass die Grundlagen für Schwingungen bereits in Klasse 7 vermittelt werden, allerdings eher auf einer qualitativen Ebene. Da das Akustik Domino auf Papier gedruckt, ausgeschnitten und anschließend laminiert wird ist es kostengünstig, handlich und einfach zu reproduzieren. Außerdem kann es viele Jahre wiederverwendet werden. Falls die Schüler*innen das Akustikdomino falsch ordnen, kann die Lösungszahl auch negativ oder zweistellig werden. In diesem Fall sollten sie erkennen, dass dies nicht die richtige Lösung ist.

Anforderungen an das Rätsel

Akustik: Domino

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.2.2 Optik und Akustik, (1)
- ✓ Kostengünstig: <1€
- ✓ klein und handlich: leicht, Papier
- ✓ einfache Reproduktion: drucken
- ✓ nachhaltig: laminieren
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungszahl ist eine blaue 2, Rätselzeit ~7 min
- ✓ RiSU konform

Falls sie bei diesem Rätsel Hilfe benötigen steht in der Hinweiskarte nochmals, was einen Klang von einem Ton und einem Geräusch unterscheidet. Zudem wird erklärt, in welchem Zusammenhang Frequenz und Amplitude mit Tonhöhe und Lautstärke stehen. Diese Informationen sind wichtig, da das Thema Akustik in Klasse 7 behandelt wird und bis Klassenstufe 10 nicht unbedingt das ganze notwendige Wissen für dieses Rätsel noch vorhanden ist. Das Rätsel ist damit eine gute Wiederholung von bereits Gelerntem.

Laut Schecker [42] haben Schüler*innen teilweise Probleme damit die Begriffe Tonhöhe und Lautstärke voneinander abzugrenzen. Laute Töne werden dabei oft als laute und hohe Töne interpretiert. Um das Akustik Domino korrekt zu lösen wird genau jene Unterscheidung benötigt, welche jedoch auch in der Hinweiskarte nochmals explizit erklärt wird. Zudem existiert die Schülervorstellung, dass Töne sich wie Partikel durch einen Raum bewegen [42]. Bei der Umsetzung des Rätsels wurde deshalb auf die Formulierung geachtet, sodass alltägliche Formulierungen wie „der Ton kommt aus dem Lautsprecher“ oder „das Instrument macht einen Ton“ (vgl. [42]), welche eine falsche Vorstellung erzeugen könnten, vermieden werden.

4.2.8. Elektromagnetismus: Induktion

Das **Induktionsrätsel** ist eines von drei Rätseln in Box 4 und ist mit dem richtigen Ansatz sehr schnell gelöst. Es besteht aus einer von Hand gewickelten Spule aus 0,1 mm dünnem Kupferlackdraht. Die Draht-Enden sind an eine rote low-current LED gelötet und hinter Klebeband versteckt. Neben der roten LED befinden sich noch zwei weitere LEDs in den Farben grün und gelb, wobei neben jeder LED eine Lösungszahl steht (vgl. Abb. 4.12). Ziel der Schüler*innen ist es, eine LED zum Leuchten zu bringen, indem sie den Magnetstab

aus dem Rätsel **Atomaufbau** (vgl. Kapitel 4.2.6) nutzen und diesen schnell in der Spule hin- und herbewegen. Daraufhin leuchtet nur die rote low-current LED auf, neben welcher die Lösungszahl 3 steht. Da bisher für alle Rätsel die benötigten Materialien in der Box des Rätsels zu finden waren, steht innerhalb von Box 4, dass für eines von drei Rätseln ein Teil benötigt wird, welches bereits in einem anderen Rätsel verwendet wurde. Dies soll sicherstellen, dass die Schüler*innen möglichst wenig Zeit mit der Suche nach dem Magnetstab verlieren. Falls sie die Hinweiskarte zu Hilfe nehmen enthält diese den Tipp, dass in einer Spule mittels Induktion ein elektrischer Strom erzeugt wird. Dafür benötigen sie den Magnetstab, welcher schnell in der Spule hin- und herbewegt werden muss. Falls sie dennoch nichts beobachten, sollen sie es an einer dunkleren Stelle im Raum ausprobieren. Das Magnetfeld muss sich mit einer gewissen minimalen Geschwindigkeit im Inneren der Spule ändern, um die Schwellspannung der LED zu überwinden. Diese leuchtet ab einem Strom von 2 mA, im Vergleich zu herkömmlichen LEDs, welche bei etwa 10 mA anfangen zu leuchten [44].

In Klassenstufe 9/10 wird laut Bildungsplan Physik BW die elektromagnetische Induktion behandelt: „(5) die elektromagnetische Induktion qualitativ untersuchen und beschreiben“ [16]. Das Rätsel ist etwas zeitaufwändiger in der Herstellung, im Vergleich zu anderen Rätseln. Im Preis ausschlaggebend ist der Kupferlackdraht. Da die LEDs eine lange Lebensdauer haben, ist das Rätsel lange haltbar und kann oft wiederverwendet werden. Auch ist es aufgrund der kleinen Spannungen und den isolierten Lötstellen RiSU konform. Problematisch ist teilweise der dünne Draht, welcher bei nicht sachgerechtem Umgang schnell reißt. Beim Anlöten an die LED muss der Lack von dem Draht gekratzt werden, damit dieser an den Lötstellen leitfähig ist.

Anforderungen an das Rätsel Elektromagnetismus: Induktion

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.3.2 Elektromagnetismus, (5)
- ✓ Kostengünstig: 4€
- ✓ klein und handlich: leicht, Plastik
- ~ einfache Reproduktion: 3D-Druck, Spule wickeln, löten
- ✓ nachhaltig: wiederverwendbar, haltbar
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungszahl ist die rote 3, Rätselzeit ~2 min
- ✓ RiSU konform

Bereits bei der Herstellung sollte auf präzises Wickeln der Spule und Löten geachtet werden. Die Anzahl an Wicklungen ist schwer abzuschätzen. Insgesamt besitzt die in Abbildung 4.12 gezeigte Spule eine Wicklungsdicke von 5 mm. Alternativ ist es möglich, das Rätsel mit einem 0,2 mm Kupferlackdraht zu testen (vgl. Kapitel 5).

Das Rätsel macht auf kleinem Raum das Phänomen der Induktion sichtbar. Mithilfe der experimentellen Beobachtung kann das Rätsel dabei helfen, bestehende Fehlvorstellungen zu minimieren. Manche Schüler*innen vertreten die Ansicht, dass für die induktive Ladungstrennung ein Magnetfeld ausreicht. In ihrer Vorstellung wird im Leiter eine elektrische Spannung induziert, sobald ein Magnetfeld in der Nähe ist. Der Bezug zwischen Induktion und bewegter Ladung im Magnetfeld oder einer Änderung des Magnetfeldes ist dabei

vielen Schüler*innen unklar [42]. Das Rätsel **Induktion** verdeutlicht den Schüler*innen, dass ein sich schnell änderndes Magnetfeld zu einer Induktionsspannung führt, woraufhin eine LED leuchtet.



Abbildung 4.12.: Induktionsspule (rechts) mit passendem Magnetstab (links), welcher bei schnellem Hin- und Herbewegen in der Spule einen Induktionsstrom erzeugt. Daraufhin leuchtet die rote LED, neben welcher die Lösungszahl 3 steht. Die grüne und gelbe LED sind nicht angeschlossen. Hinter dem grauen Klebeband befinden sich die Lötstellen.



Abbildung 4.13.: Zauberkreuz, wie die Schüler*innen es vorfinden. Durch Drehen lässt es sich in seine zwei Teile zerlegen und offenbart die Lösungszahl.



Abbildung 4.14.: Geöffnetes Zauberkreuz. Die horizontal beweglichen Stifte in den Innenseiten können mit den Löchern des Gegenstücks einen Formschluss bilden.

4.2.9. Mechanik: Zentripetalkraft

Das dritte Rätsel in Box 4 ist ein „Zauberkreuz“ aus Holz (vgl. Abb. 4.13). Es besteht aus zwei Teilen, welche ineinander gesteckt werden. Die integrierten, horizontal gelagerten Stifte erzeugen einen Formschluss, welcher die relative Bewegung der beiden Bauteile zueinander sperrt (vgl. Abb. 4.14). Um den Formschluss rückgängig zu machen, müssen die Stifte in ihre Löcher im Holzstück zurückfahren, was mithilfe der Zentripetalkraft erreicht wird. Das Zauberkreuz wird dabei um seine Mittelachse gedreht und kann danach problemlos in zwei Teile zerlegt werden. Auf der Innenseite finden die Schüler*innen eine grüne 7, was die Lösungszahl 7 mit der Farbcodierung grün bedeutet.

In Klasse 10 wird im Rahmen der Dynamik auch „(5) die gleichförmige Kreisbewegung eines Körpers mithilfe der Zentripetalkraft [...]“ [16] besprochen. Die Zentripetalkraft erklärt, weshalb beim Drehen des Zauberkreuzes die locker gelagerten Stifte horizontal nach außen, in die Arme des Zauberkreuzes rutschen. Denn ist der Betrag der Zentripetalkraft beim Drehen auf die Stifte zu klein, vergrößert sich deren Abstand zum Drehzentrum und der Bahnradius wird größer [45]. Dadurch lassen sich die beiden Holzstücke voneinander lösen. Wird das Zauberkreuz selbst hergestellt, ist es kostengünstig umzusetzen, benötigt jedoch handwerkliche Fähigkeiten, präzises Arbeiten und Zeit. Wenn eines der Löcher für die Stifte nicht korrekt zentriert gebohrt wird, ist eine Verklemmung der Stifte möglich, was das Rätselstück unbrauchbar macht.

Anforderungen an das Rätsel Mechanik: Zentripetalkraft

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.3.5.2 Dynamik (*), (5)
- ✓ Kostengünstig: ab 3€
- ~ klein und handlich: leicht, Holz, Maße variieren stark
- ✓ einfache Reproduktion: Online kaufen [46] oder selbst herstellen.
- ✓ nachhaltig: wiederverwendbar, haltbar
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungszahl ist die grüne 7, Rätselzeit ~3 min
- ✓ RiSU konform

Deshalb ist es für eine Reproduktion des Rätsels einfacher, ein Zauberkreuz online zu bestellen. Hier variieren die Maße und Preise deutlich, worauf zu achten ist, da das Holzkreuz in Rätselbox 4 passen sollte.

Die Schüler*innen erhalten zu diesem Rätsel keine Aufgabenstellung oder Erklärungstext, was das eigenständige Experimentieren und Analysieren fördern soll. Außerdem kann nicht ausgeschlossen werden, dass manche Schüler*innen das Zauberkreuz aus anderen Unterrichtsfächern kennen. Beispielsweise weil sie es im Fach Naturwissenschaft und Technik selbst hergestellt haben. Ist das Rätsel unbekannt, darf gleichzeitig nicht unterschätzt werden, wie lange Schüler*innen ohne Hinweiskarte benötigen, um das Rätsel zu lösen (siehe Kapitel 5). Nehmen die Schüler*innen die Hinweiskarte, ist dort Abbildung 4.14 zu sehen, welche ihnen den Aufbau des Zauberkreuzes von Innen verdeutlicht. D.h.

die Schüler*innen brauchen an dieser Stelle immer noch die richtige Idee, das Zauberkreuz zu drehen, um mithilfe der Zentripetalkraft die Teile voneinander zu lösen.

Für Schüler*innen und auch für viele Lehramtsstudierende der Physik ist es oft herausfordernd, die *Zentripetalkraft* von der Scheinkraft *Zentrifugalkraft* zu unterscheiden. Dies wird durch falsch gedeutete Alltagserfahrungen bestärkt, wenn bspw. beim Durchfahren einer Kurve die Person gegen die Außentür gedrückt wird. Hier meinen Schüler*innen, dass die Zentrifugalkraft die Person nach außen zieht, während die korrekte Interpretation wäre, dass über die Außentür eine Zentripetalkraft auf die Person wirkt und diese auf der Bahn hält. Auch führt der Versuch im Unterricht beschleunigte und ruhende Bezugssysteme zu behandeln, eher zu Verwirrung als zu Klärung. Deswegen wird aus didaktischer Sicht empfohlen, Kreisbewegungen in einem ruhenden Bezugssystem zu beschreiben und die Physik mit realen Kräften (Zentripetalkraft, Gravitationskraft) nachzuvollziehen, anstatt mit Scheinkräften zu verwirren [42].

Rückblickend benötigen die Schüler*innen um das Schloss an Box 5 zu öffnen nun die blaue Lösungszahl aus dem **Akustikrätsel** mit dem Domino, die rote Lösungszahl aus dem **Induktionsrätsel** sowie die grüne Lösungszahl, welche sie auf der Innenseite des **Zauberkreuzes** finden. Für alle drei Rätsel zusammen haben die Schüler*innen etwa 10-12 min zur Verfügung. Ist das Schloss an Box 5 geöffnet, erwartet die Schüler*innen ein letztes Rätsel.

4.2.10. Mechanik: Kinematik

Im finalen, theoretischen **Kinematikrätsel** analysieren die Schüler*innen ein v - t -Diagramm um den zurückgelegten Weg $s = v \cdot t$ aus verschiedenen zeitlichen Abschnitten zu berechnen und diesen in einer Karte nachzulaufen (vgl. Abb. 4.15). Infolge dessen werden auf dem Weg die Zahlen 1, 9 und 4 eingesammelt, welche das Schloss an der Auflösungsbox öffnen. Dazu muss an den richtigen Stelle in Fahrtrichtung nach rechts oder links gedreht werden, was ein gewisses Abstraktionsvermögen verlangt. Außerdem gibt es Stellen, an welchen die Geschwindigkeit negativ ist. Dies wird als Rückwärtsfahren interpretiert, was die Schüler*innen aus der Aufgabenstellung wissen. Die Aufgabenstellung knüpft an dieser Stelle wieder an der Rahmengeschichte an, indem sie den Schüler*innen verrät, dass dies die letzte gestellte Prüfung des Geheimbundes ϕ sik ist. Als Hilfestellung liegt neben dem Rätsel noch eine Tabelle, in welcher die Schüler*innen ihre berechneten Wegstrecken s festhalten können. Die Formel $v = \frac{s}{t}$ finden die Schüler*innen ebenfalls auf dem Tabellenblatt (siehe Anhang A.4).

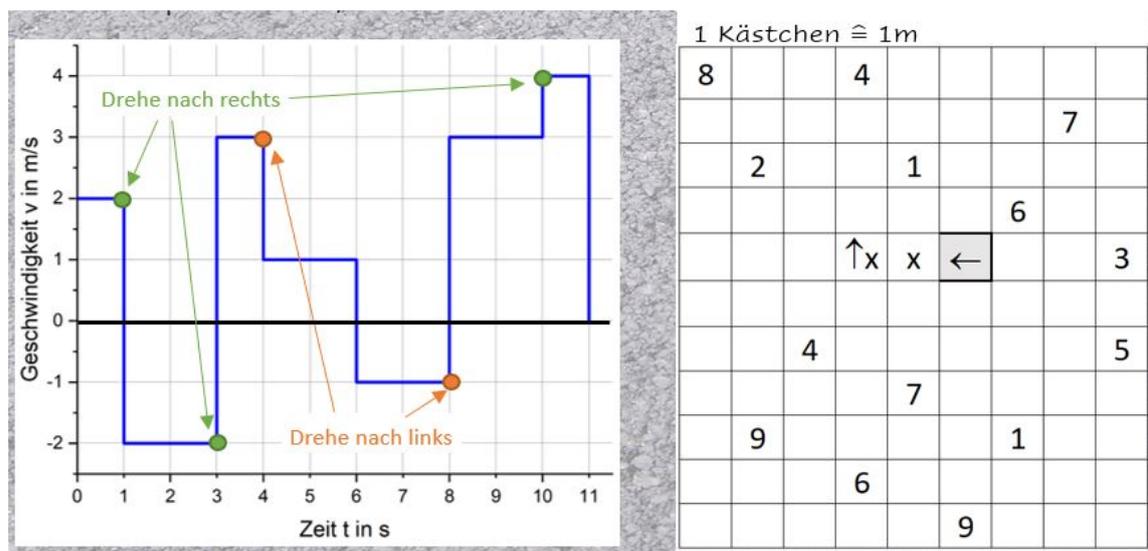


Abbildung 4.15.: Ausschnitt aus dem Rätsel **Kinematik**, bei welchem die Schüler*innen aus dem linken v - t -Diagramm die Wegstrecken s berechnen und sie in der rechten Karte einzeichnen. Im ersten Zeitabschnitt von 0 s bis 1 s legt das Fahrzeug eine Strecke von 2 m zurück und dreht dann nach rechts. Dies ist durch zwei Kreuze und einen Pfeil in der Karte rechts eingezeichnet.

Im Bildungsplan Physik BW in Klassenstufe 9/10 ist die Kinematik an zwei Stellen zu finden. Zum einen in Kapitel 3.2.6, in welchem „(2) Bewegungsdiagramme erstellen und interpretieren (s - t -Diagramm, Richtung der Bewegung)“ [16] steht. Detaillierter und mathematischer wird die Kinematik in Klassenstufe 10 untersucht in Kapitel 3.3.5.1, wobei der Bildungsplan hier explizit auf die Geschwindigkeit v und die Beschleunigung a , sowie v - t -Diagramme eingeht [16]. Da das Rätsel an sich mit Papier und Stift gelöst wird, ist es einfach zu reproduzieren, kostengünstig und handlich. Wird das Papier zudem laminiert, kann es nach jedem Einsatz, ohne großen Aufwand, wiederverwendet werden.

Anforderungen an das Rätsel Mechanik: Kinematik

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.2.6 Mechanik: Kinematik, (2) und Kapitel 3.3.5.1 Kinematik (*), (1)-(3)
- ✓ Kostengünstig: <1€
- ✓ klein und handlich: leicht, Papier
- ✓ einfache Reproduktion: drucken
- ✓ nachhaltig: wiederverwendbar, laminiert
- ✓ lösbar, terminiert: dreistellige Lösungszahl 194, Rätselzeit \sim 7 min
- ✓ RiSU konform

Nach fast 60 min rätseln unter Zeitdruck ist davon auszugehen, dass die Leistungsfähigkeit der Schüler*innen nachlässt. Deswegen gibt es auch für dieses Rätsel eine Hinweiskarte. In dieser wird vorgegeben, welche Schritte in welcher Reihenfolge erledigt werden sollen. Durch dieses systematische Vorgehen wird erwartet, dass die Schüler*innen das finale Rätsel gelöst bekommen, sofern sie noch genug Zeit dafür haben. Gleichzeitig ist das

Interpretieren des v - t -Diagramms und das Hineinversetzen in Fahrtrichtung, sodass an den richtigen Stellen nach rechts und nach links gedreht wird, eine Abstraktion, die gegebenenfalls nicht jede*r 10. Klässler*in hinbekommt.

Eine Lernschwierigkeit ergibt sich dadurch, dass im Unterricht Geschwindigkeit oftmals als eindimensionale Größe eingeführt wird. Den Schüler*innen ist deswegen nicht unbedingt klar, dass Geschwindigkeit als vektorielle Größe gesehen wird. Stattdessen stellen sich Schüler*innen die Geschwindigkeit betragsmäßig als Schnelligkeit vor, die Richtung wird wenn überhaupt als Zusatzeigenschaft anerkannt. Über Alltagssprache wird diese Fehlvorstellung teilweise noch verstärkt. Wird der Geschwindigkeit ein negatives Vorzeichen gegeben, wie auch in diesem Rätsel zu finden, wird der Richtungsaspekt ansatzweise berücksichtigt. Dies ist den Schüler*innen aber nicht unbedingt klar, da sie die Richtungsweisung wieder als Zusatzeigenschaft interpretieren könnten. Von Forschern wird empfohlen, Geschwindigkeit von Beginn an als zweidimensionale Größe zu behandeln [42]. Das **Kinematikrätsel** funktioniert auch mit Geschwindigkeitsvektoren und wäre dadurch sogar einfacher umzusetzen. Jedoch ist die vektorielle Schreibweise in Klasse 10 noch weitgehend unbekannt, weshalb an dieser Stelle mit eindimensionalen Geschwindigkeitsbeträgen und Richtungsangaben (rechts, links, vorwärts, rückwärts) gearbeitet wird. Ob das Fahrzeug hoch, runter oder auf einer Ebene fährt, ist dabei nicht zu erkennen.

4.2.11. Auflösung: Beugung am Gitter

Sobald das dreistellige Schloss an Box 6 geöffnet wird, wird der Countdown angehalten. In Box 6 finden die Schüler*innen einen abschließenden Text, welcher ihnen zur Aufnahme in den Geheimbund ϕ sik gratuliert und noch ein paar Hintergrundinformationen zum Geheimbund liefert. So besteht die Aufgabe der Mitglieder im Geheimbund ϕ sik darin, durch subtile Arbeit andere Menschen von der Physik zu begeistern. In der Box finden sie des Weiteren einige *Twinkys* (vgl. Abb. 4.16) - runde Lochscheiben mit Diffraktionsfolie in der Mitte, wobei die verschiedenen Wellenlängen des Lichtes an der Gitterfolie unterschiedlich stark gebeugt werden [47]- welche als Eintrittskarte zu den geheimen ϕ sik Treffen dienen. Die durchführende Lehrkraft könnte hier optional die nächsten Treffen bekanntgeben, nämlich Zeit und Ort der regelmäßigen Physikstunden. Blicken die Schüler*innen durch das Twinky hindurch, sehen sie die Spektralfarben des Lichtes. Da in der Oberstufe Physik in BW viel Beugung am Gitter im Zusammenhang mit Interferenz untersucht wird, soll das Twinky als kleine Spielerei auch einen Ausblick auf Inhalte der Oberstufe geben. Die Lehrkräfte können bei Durchführung der Escape Box Physik entscheiden, ob das Twinky den Schüler*innen als Gewinn geschenkt wird oder ob es zurückgegeben werden muss.

4.3. Weitere fertig entwickelte Rätsel

Nach ersten Testläufen mit Studierenden und Schüler*innen stellte sich heraus, dass eine Vorgängerversion der Escape Box (siehe Anhang A.7) zu schwierig und umfangreich war. Aus diesem Grund wurde die Struktur nochmals überarbeitet und für die finale Version



Abbildung 4.16.: Viele Twinkys: runde Lochscheiben mit Diffraktionsfolie in der Mitte. Beim Hindurchschauen werden Lichtquellen durch unterschiedlich starke Beugung am Gitter in ihre Spektralfarben zerlegt. Bildquelle: [48].

mehrere Rätsel entfernt. Zwei fertig entwickelte Rätsel können dabei problemlos mit Rätseln der finalen Escape Box ausgetauscht werden, wenn dies von der Lehrkraft gewünscht wird. Eine weitere Idee wäre, die Rätsel als Bonusrätsel anzubieten, für leistungsstarke und schnelle Gruppen. Mehr zu dieser Optimierungsmöglichkeit findet sich in Kapitel 5.

4.3.1. Optik: Strahlenmodell

In diesem Analogieversuch zum **Strahlenmodell** untersuchen die Schüler*innen mithilfe eines Laserpointers einen Holzkasten, welcher symmetrische Löcher auf jeder Seite hat. Auf der Unterseite des Kastens ist die Aufgabenstellung angebracht. Demnach sollen die Schüler*innen herausfinden, an welchen Stellen im Kasten Spiegel versteckt sind. Auf dem Deckel des Kastens stehen Zahlen, welche über Pfeile die richtige Reihenfolge anzeigen und damit die Lösungszahl bilden (vgl. Abb. 4.17). Zusätzlich sind Sicherheitshinweise im Umgang mit Lasern gegeben. Die Spiegel im Kasten sind so positioniert, dass einfallendes Licht im 45° Winkel zum Lot reflektiert wird. Wie das Strahlenmodell von Innen aussieht, ist in Anhang A.4 zu sehen. Dieses Rätsel könnte bspw. mit dem Rätsel **Schattenphänomene** in Kapitel 4.2.3 ausgetauscht werden, wobei der Laserpointer in der Kryptex versteckt wird.

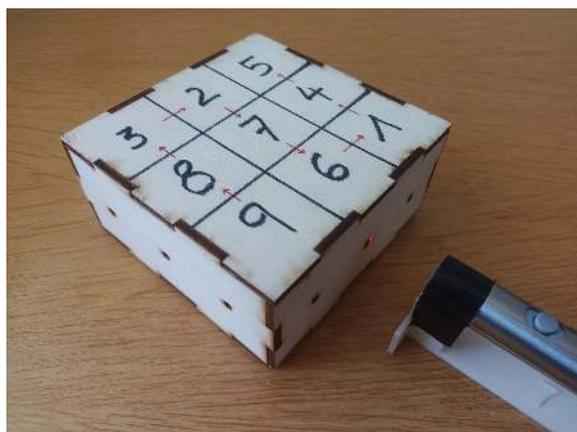


Abbildung 4.17.: Holzkasten, welcher drei versteckte Spiegel enthält. Mithilfe eines Laserpointers untersuchen die Schüler*innen, an welchen Stellen die Spiegel sind.

Das Rätsel besitzt einen eindeutigen Bezug zum Bildungsplan Physik BW mit „(4) grundlegende Phänomene der Lichtausbreitung experimentell untersuchen und mithilfe des Lichtstrahlmodells beschreiben“ [16]. Es eignet sich, um auf einer Transferebene die Schüler*innen über das Strahlenmodell diskutieren zu lassen, da durch den Black-Box Charakter ein gewisses Abstraktionsvermögen benötigt wird. Insgesamt erfüllt es weniger Anforderungen verglichen mit vorherigen Rätseln, weshalb es schlussendlich aussortiert wurde. In der Herstellung ist das Rätsel aufwändig, da viele Fertigungsschritte benötigt werden: Spiegel zuschneiden und auf der Bodenplatte justieren, kleben, Laserpointer Halterungen 3D drucken und einen Holzkasten fertigen. Der hier gezeigte Holzkasten wurde in einer Schule mit dem Lasercutter zugeschnitten.

Anforderungen an das Rätsel Optik: Strahlenmodell

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.2.2 Optik und Akustik: (4)
- ~ Kostengünstig: 8€
- ✓ klein und handlich: Maße können variieren, leicht
- ~ einfache Reproduktion: Holzkasten herstellen, Spiegel schneiden und justieren, 3D drucken
- ~ nachhaltig: benötigt Bodenplatte, die sich nicht verzieht
- ✓ lösbar, terminiert: dreistellige Lösungszahl 971, Rätselzeit ~7 min
- ~ RiSU konform: geeigneter Laser benötigt, Leistung < 1 mW

Problematisch ist dabei das verwendete Sperrholz, welches sich mit der Zeit, vermutlich durch Feuchtigkeitseinwirkung, verzogen hat. Nun sind die geklebten Spiegel nicht mehr richtig justiert und der reflektierte Laserstrahl tritt aus keinem Loch aus. Dadurch ist auch kein Rückschluss auf die Position der Spiegel im Holzkasten möglich. Bei einem Nachbau des Rätsels sollte unbedingt auf eine formstabile Bodenplatte geachtet werden. Als weitere Herausforderung ergibt sich der Einsatz eines Laserpointers, welcher Sicherheitshinweise

benötigt, sodass Schüler*innen einen sachgemäßen Umgang damit pflegen. Bei diesen muss sichergestellt werden, dass die Schüler*innen zuerst die Sicherheitshinweise lesen, bevor sie zu experimentieren beginnen (bspw. indem der Laserpointer zunächst in der Kryptex eingeschlossen ist).

4.3.2. Elektrizitätslehre: Widerstand

Das **Widerstandsrätsel** besteht aus einer Parallelschaltung und einer Reihenschaltung von Widerständen, wobei zwei Widerstände zwischen den Krokodilklemmen fehlen. Eine Skizze der Ersatzschaltung gibt Aufschluss über die Werte der Ersatzwiderstände. Aufgabe der Schüler*innen ist es, mithilfe der Ersatzwiderstände die fehlenden Widerstände zu berechnen. Falls die Schüler*innen die Formeln nicht auswendig parat haben, finden sie diese in der Hinweiskarte. Um zu erkennen, welcher Widerstand bereits vorhanden ist und welche später gebraucht werden, erklärt eine Tabelle, wie die Farbcodierung der Widerstände zu lesen ist.

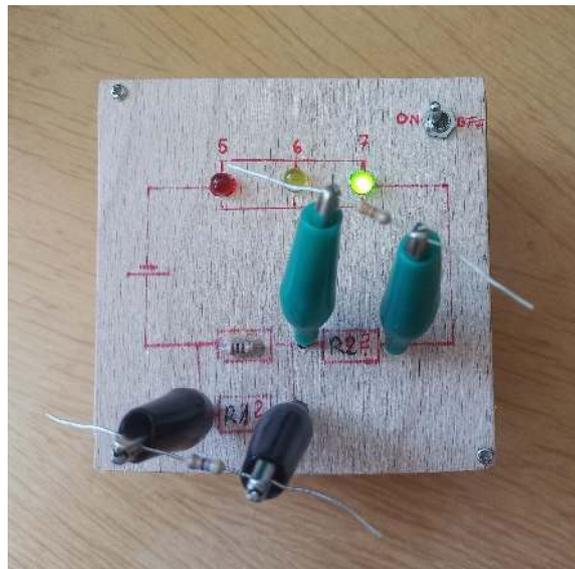


Abbildung 4.18.: **Widerstandsrätsel**: Werden an den Krokodilklemmen die richtigen, berechneten Widerstände eingesetzt, leuchtet die grüne LED. Eine Fensterkomparatorschaltung erkennt, wenn die eingesetzten Widerstände zu groß oder zu klein sind, sodass keine LED leuchtet.

Werden an den Krokodilklemmen die richtigen Widerstände eingeklemmt, leuchtet die grüne LED mit der Ziffer 7. Damit kann das Rätsel ideal mit einem Rätsel aus Box 4 ausgetauscht werden, bspw. mit dem **Zauberkreuz** oder der **Induktionsspule**.

Widerstände und Ersatzwiderstände werden laut Bildungsplan Physik BW in Klasse 9/10 behandelt, wodurch die Thematik bei Schüler*innen einer 10. Klasse noch relativ präsent ist: „(4) die Reihenschaltung und Parallelschaltung zweier Widerstände untersuchen und beschreiben ($R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$, $\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$)“ [16]. Um zu verhindern, dass die Schüler*innen falsche Widerstände einsetzen und damit elektronische Bauteile zerstören, sorgt eine Fensterkomparatorschaltung dafür, dass nur die richtigen Widerstandswerte zum Leuchten der LED führen. Das Fenster, bzw. der Wertebereich der Widerstände, wird dabei über zuvor berechnete Widerstände an Operationsverstärkern eingestellt. Das Aufwändige an diesem Rätsel ist das Besorgen der elektronischen Bauteile, anschließendes Verlöten auf einer Platine und dann die Integration mit LED und Kippschalter in einem Holzkasten.

Eine Möglichkeit, wie dieses Rätsel weiterentwickelt werden könnte wird in Kapitel 5 aufgezeigt.

Anforderungen an das Rätsel Elektrizitätslehre: Widerstand

- ✓ Bildungsplanbezug: Kapitel 3.3.2 Elektromagnetismus: (4)
- ✓ Kostengünstig: ~6€
- ✓ klein und handlich: Maße können variieren, leicht
- x einfache Reproduktion: Holzkasten herstellen, Fensterkomparatorschaltung bauen
- ✓ nachhaltig: Haltbarkeit der Batterie durch On/Off Schalter realisiert
- ✓ lösbar, terminiert: Lösungszahl grüne 7, Rätselzeit ~10 min
- ✓ RiSU konform: 9 V Batterie, Krokodilklemmen

5. Erkenntnisse aus den ersten Durchläufen

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die iterative Vorgehensweise zwischen den Testläufen, daraus erlangten Erkenntnissen und infolgedessen entstehenden Änderungen der Escape Box Physik. Insgesamt wurde der Escape Box **Prototyp** mit vier Gruppen getestet, wovon eine Gruppe der Zielgruppe entsprach. Die **finale Version** der Escape Box wurde mit drei Gruppen getestet, wovon wieder eine Gruppe aus Schüler*innen einer 10. Klasse bestand. Dieses Vorgehen entspricht einer Pilotierung und lässt keine Rückschlüsse auf wissenschaftliche, statistische Aussagen zu. Gleichzeitig werden wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Umsetzung des Konzepts festgehalten.

5.1. Erste Tests mit dem Escape Box Prototypen

In der ersten Phase mit dem Escape Box Prototypen wurden die Testdurchläufe zuerst mit fachfremden aber erfahrenen Escape-Game Spieler*innen, dann mit fachfremden und nicht-erfahrenen Spieler*innen im Erwachsenenalter und daraufhin mit Lehramtsstudierenden der Physik durchgeführt. Nach jedem Durchlauf gab es manchmal kleinere und manchmal größere Änderungen, um die Spieler*innen beim Erreichen ihres Lernzieles zu unterstützen. Schlussendlich wurde die Escape Box mit der Zielgruppe getestet. Dieses Vorgehen wird auch von Escape Game Entwickler*innen empfohlen [12].

Der erste Testdurchlauf wurde mit einer Gruppe, bestehend aus drei erfahrenen Spieler*innen, durchgeführt. Alle drei kommen aus dem Bereich Informatik. Sie zeigten eine starke Teamkommunikation und systematisches Vorgehen, wobei jede Person durchgehend beschäftigt war. Insgesamt haben sie die Prototypenversion in 78 min gelöst, was zeigt, dass an einigen Stellen die Rätsel zu schwer und zu uneindeutig waren. Beispielsweise wurde viel Zeit für das Suchen von Rätselteilen verwendet, weil teilweise nicht klar war, was zu welchem Rätsel gehört. Auch waren die Spieler*innen eher abgeneigt die Hinweiskarten zu benutzen, obwohl diese keine „Bestrafung“ mit sich bringen. Als einfachstes Rätsel empfand die Gruppe das **Kinematikrätsel**, welches sie auf Anhieb richtig lösten.

Für den zweiten Testdurchlauf wurde wieder eine Gruppe aus drei Personen gewählt, wobei die Gruppenmitglieder diesmal wenig Vorerfahrung mit Escape Games und wenig Bezug zu Physik hatten. Die Gruppe nutzte die Hinweiskarten unaufgefordert und zeigte,

dass eine gute Absprache und Diskussion im Team bestand. Paralleles Arbeiten funktionierte teilweise. In 60 min kam die Gruppe bis zu Box 4, für die komplette Durchführung benötigten sie 75 min. Herausfordernd für diese Gruppe war das mathematische Umformen und Rechnen beim **Widerstands-** und **Kinematikrätsel**, wofür sie deutlich länger brauchten als die Vorgängergruppe.

Als Erkenntnis aus diesen beiden Durchläufen ist, dass der Zeitfaktor stark von Formulierungen und Informationen abhängig ist, die den Spieler*innen zur Verfügung stehen. Beispielsweise ist es wichtig, dass die Spieler*innen wissen, wie viele Rätsel in der Box sind, die sie gerade geöffnet haben, damit sie systematisch diese Rätsel lösen können. Anweisungstexte sollten dabei kurz und deutlich sein, da bei längeren Texten die Gefahr besteht, dass sie nicht ganz gelesen werden. Nach beiden Durchläufen wurden einige Anweisungstexte und hilfreiche Tipps für die Escape Box ergänzt und verändert. Außerdem wurde die Reihenfolge der Boxen beschriftet, um eine eindeutige Struktur vorzugeben. Beide Durchläufe zeigten des Weiteren, dass eine Gruppengröße von drei Personen geeignet ist: Alle Beteiligten waren stets beschäftigt und Diskussionen zum Vorgehen und über problemlösende Strategien wurden in den Gruppen geführt.

Im dritten Durchlauf war eine Praktikantin der 11. Klasse, zwei Lehramtsstudierende der Physik und ein Physik Doktorand beteiligt. Durch planmäßiges Vorgehen und abgesprochenem, parallelem Arbeiten löste diese Gruppe den Escape Box Prototypen innerhalb von 52 min. Es ist damit die erste Gruppe, welche alle Rätsel in der vorgegebenen Zeit geschafft hat. Gleichzeitig hatte diese Gruppe aufgrund ihrer physikalischen Ausbildung auch einen Vorteil. Auf das Feedback der Gruppe hin wurde das Rätsel **Atomaufbau** nach dieser Runde verändert, indem das Lithium-Isotop-Ion (vgl. Abb. 5.1) gegen Tritium getauscht wurde. Problematisch an der Umsetzung mit Lithium ist, dass der Punkt im Zentrum der drei „Protonen-Magnete“ vom Magnetstab genauso stark angezogen wird, als wenn dort ein weiterer Magnet wäre. Dies liegt am erzeugten Magnetfeld der drei „Protonen-Magnete“. Die Spieler*innen konnten eigenständig nicht nachvollziehen, wie viele Magnete im Kern sind, weshalb für den nächsten Testdurchlauf das Rätsel mit dem Atomaufbau Tritium aus Kapitel 4.2.6 vereinfacht wurde.

Der vierte Testlauf wurde mit einer Gruppe von drei Schülerinnen der 10. Klasse im Hilda Gymnasium in Pforzheim durchgeführt. Die Gruppe hatte bis auf eine Person keine Vorerfahrung mit Escape Games und gehörte laut Aussage der Lehrkraft zu den leistungsstärkeren Schüler*innen der Klassenstufe. Sie verbrachten viel Zeit damit, Material zu sichten und waghalsige Hypothesen aufzustellen, wie Rätsel funktionieren könnten, anstatt Anweisungstexte genau zu lesen oder sich eine Hinweiskarte zu nehmen. Beim Rätsel **Strahlenmodell** fiel auf, dass sie mit dem Black-Box Rätsel große Schwierigkeiten hatten. Obwohl sie die grundlegende Aufgabe verstanden, bereitete ihnen ein chaotisches Vorgehen und fehlender Transfer Probleme. Nach 60 min hatte die Gruppe gerade erst Box 4 geöffnet und wurde an dieser Stelle unterbrochen. Dennoch gab die Gruppe das Feedback, dass es eine schöne Abwechslung zu normalem Physikunterricht sei. Auffällig war, dass die Gruppe alles zusammen bearbeitete. Paralleles Arbeiten funktionierte trotz Aufforderung in der Einführung nicht. Um zukünftigen Gruppen ein Erfolgserlebnis geben zu können wurde die Struktur der Escape Box nochmals überarbeitet, sodass weniger

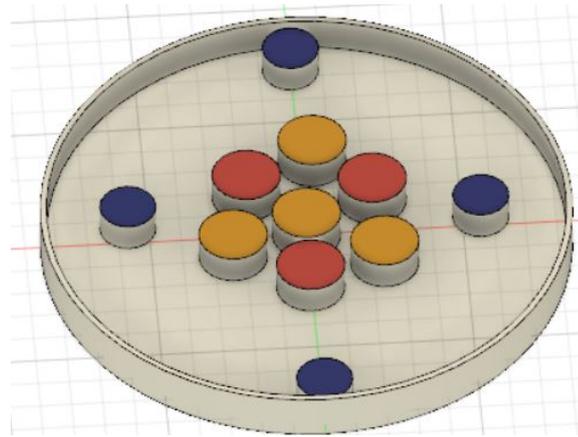


Abbildung 5.1.: Atomaufbau eines Lithium-Isotop-Ions für die Prototypen Escape Box. Die Elektronen sind in blau, Protonen in rot und Neutronen in gelb dargestellt.

parallele Arbeitsprozesse und weniger Rätsel darin enthalten sind. Entscheidend für den Ausschluss bestimmter Rätsel war, dass die Anforderungen bei diesen Rätseln weniger gut erfüllt waren als bei anderen Rätseln. Die Prototypen Version der Escape Box ist ausführlich im Anhang A.7 einzusehen.

5.2. Durchführungen mit der finalen Escape Box

Mit der überarbeiteten Version, welche weniger Rätsel und weniger paralleles Arbeiten beinhaltet, wurde die Escape Box mit einer Gruppe von Studierenden der Pädagogischen Hochschule, der Zielgruppe und einem Leistungskurs Physik mit insgesamt 12 Personen getestet.

Die zwei Studierenden des Sachkundeunterrichts der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe konnten die Escape Box trotz geringer Physikkenntnisse innerhalb von 59 min lösen. Dies verdeutlicht, dass der zeitliche Ablauf nun realistischer eingeschätzt wurde. Auffällig war, dass die beiden Fach-Fremden zu fast jedem Rätsel direkt die Hinweiskarte lasen. Dies half dabei, physikalisches Wissen zu vermitteln, um die Rätsel zu lösen. Zudem bewies diese Gruppe, dass auch zwei Personen in der Lage sind, zusammen alle Rätsel zu lösen, da in der finalen Version weniger paralleles Arbeiten benötigt wird. Als schwerstes Rätsel empfanden beide das **Akustik-Domino**. Nach diesem Durchlauf wurde nichts an der Escape Box verändert.

Kurz darauf wurde die finale Escape Box mit vier Personen aus einer 10. Klasse getestet, wobei auch diese Gruppe innerhalb von 60 min erfolgreich alle Rätsel lösen konnte. Die Gruppe zeigte größtenteils problemorientierte und strategische Lösungskompetenzen, Kommunikationskompetenzen und Teamfähigkeit. Allerdings wurde in aller Rätselfreude auch mal eine Anweisung übersehen oder eine Hinweiskarte vergessen. Auf die Hinweise griff die Gruppe erst zurück, als sie mit Blick auf den Countdown feststellte, dass die Zeit langsam knapp wird. Herausfordernd für diese Gruppe waren ebenfalls das **Akustikrätsel**

sowie das **Kinematikrätsel**. Beim **Akustikrätsel** wurde der Text neben den Bildern teilweise nicht gelesen und deswegen manche Objekte falsch zugeordnet. Allerdings entstanden auch physikalische Diskussionen über Amplituden, Frequenzen und Klangfarben. Als Feedback zu diesem Rätsel wünschten sich die Schüler*innen eine gekürzte Version des Rätsels, in welchem bspw. drei Instrumente weniger vorkommen. Beim **Kinematikrätsel** konnten die Schüler*innen die zurückgelegte Strecke s aus dem v - t -Diagramm ohne Probleme berechnen. Nahezu gescheitert sind sie schlussendlich am Transfer auf der Karte, da sie nach dem Rückwärtsfahren in die falsche Richtung abgebogen sind. Die Abstraktion zwischen Strecke, Richtung und Richtungsänderung in Fahrtrichtung überforderte diese Gruppe. Der steigende Zeitdruck hat dies ggf. noch verstärkt. Obwohl teilweise nicht alle Personen am gleichen Rätsel mitmachen konnten meldeten die Teilnehmer*innen zurück, dass sie die Gruppengröße als angenehm empfanden und stets mitdachten, wenn sie selbst nicht aktiv waren.

Die letzte Durchführung fand mit einem Leistungskurs Physik in Wörth am Rhein statt, welcher aus insgesamt zwölf Schüler*innen bestand. Aktiv am Lösen der Escape Box Physik waren sechs Personen beteiligt, welche innerhalb von 51 min alle Rätsel lösten. Im Unterschied zur 10. Klasse bestand kein Problem zum Abstrahieren beim **Kinematikrätsel**, welches sie auf Anhieb lösten. Insgesamt haben die Schüler*innen oft zu zweit einzelne Rätsel bearbeitet und nachvollzogen, was die anderen für Erkenntnisse beim Rätseln hatten. Herausstechend im Vergleich zu den vorherigen Gruppen war, dass eine Person sehr experimentierfreudig und geduldig mehrere Minuten lang versuchte, das Zauberkreuz zu lösen. Danach war die Freude und Faszination über so ein einfaches Rätsel sehr groß. Das **Zerfallsrätsel** löste die Gruppe zuerst falsch und erkannte ihren Fehler erst nach einem Tipp. Die Schüler*innen erkannten selbst nicht, dass die Kernladungszahl eines Elementes immer gleich sein muss. Eine weitere Hinweiskarte benötigte der Leistungskurs beim **Akustikrätsel**, was bestätigt, dass dieses Rätsel für die Zielgruppe vereinfacht werden sollte.

5.2.1. Optimierungsmöglichkeiten der finalen Escape Box Physik

Um die Escape Box weiter zu verbessern und sie für eine heterogene Klassengemeinschaft mit unterschiedlichen Leistungsniveaus einzusetzen, sind hier einige Ideen und Vorschläge zur Weiterentwicklung der Escape Box Physik gelistet. Diese basieren auf den Erkenntnissen der Durchläufe sowie auf der Erfahrung der Entwicklung.

Das **Akustikrätsel** kann so gekürzt werden, dass sowohl das Audio Oszilloskop von Becken, unter Musikern auch Hi-Hat genannt, wie auch der Trommel weggelassen werden. Dies reduziert die Anzahl der Geräusche auf das Papierknäuel und das Hintergrundgeräusch, welche über die Amplitude voneinander unterschieden werden. Die Stimmgabel bildet eine Oszilloskopaufnahme eines Tons ab, während die Oszilloskopaufnahmen von Klavier und Cello Obertöne aufweisen. Um das Rätsel abwechslungsreicher zu gestalten, können Aufnahmen von einem Knall o.Ä. hinzugefügt werden. Mit weiteren Test mit der Zielgruppe kann herausgefunden werden, welcher Umfang geeignet ist.

Beim **Induktionsrätsel** kann untersucht werden, ob eine Drahtdicke von 0,2 mm des Kupferlackdrahtes anstatt von 0,1 mm ebenso funktioniert. Vorteil wäre, dass ein dickerer Draht robuster ist und einfacher an die LED gelötet werden kann. Schlussendlich ist die Dicke des Drahtes, die Anzahl an Windungen, die spezielle low-current LED sowie die Anzahl der Magnete im Magnetstab entscheidend, ob das Rätsel funktioniert und die LED sichtbar leuchtet. Wie diese Parameter zusammenhängen, sollte für eine klare Reproduzierbarkeit des Rätsels genauer untersucht werden. Ebenso könnte probiert werden, die Spule mithilfe einer drehenden Bohrmaschine zu wickeln, anstatt von Hand, was in der Herstellung Zeit spart.

Ein Durchlauf mit der Zielgruppe hat gezeigt, dass das **Kinematikrätsel** eine zu hohe Abstraktion erfordert, da es den Schüler*innen schwer fällt, sich in einen theoretischen Fahrer hineinzusetzen. Um dieses Rätsel an die Zielgruppe anzupassen, könnte ein Miniaturfahrzeug zur Verfügung gestellt werden, damit die Schüler*innen mithilfe des Fahrzeuges die Richtungsänderungen und das Rückwärtsfahren nachvollziehen können. Andere Verbesserungsvorschläge wären anstatt von „rechts“ und „links“ Anweisungen besser Nord, Ost, Süd und West Anweisungen zu geben. Hier müssten die Schüler*innen aber immer noch schlussfolgern, dass beim Rückwärtsfahren mit Blickrichtung nach Norden, das Fahrzeug sich nach Süden bewegt. Eine dritte Alternative zum bestehenden Rätsel wäre, Fahrtrichtungspfeile auf die Karte zu malen oder das Rätsel an sich zu kürzen. Welche Variante sich bewährt, müsste wieder durch weitere Tests mit der Zielgruppe herausgefunden werden.

Bei Klassen mit heterogener Leistungsverteilung bietet es sich an, Bonusrätsel in die Escape Box zu integrieren. Dadurch werden leistungsstarke Gruppen weiter gefördert, während leistungsschwache Gruppen keinen direkten Nachteil haben und die Escape Box ohne Bonusrätsel lösen können. Als Bonusrätsel könnte bspw. das **Widerstand**- oder das **Strahlenmodell**-Rätsel in weiterentwickelter Form verwendet werden.

Gerade beim **Widerstandsrätsel** würde es sich anbieten, dieses mithilfe eines Mikrocontrollers umzusetzen, wenn ein solcher an der Schule vorhanden ist. Über die analogen Pins erkennt der Mikrocontroller, ob die gesuchten Widerstände in einem bestimmten Wertebereich liegen. Ist dies der Fall, steuert er eine LED an, welche leuchtet. Auch die RGB LED könnte mithilfe eines Mikrocontrollers angesteuert werden, sodass die Mischfarben im Rätsel **Farbaddition** im gleichen Intensitätsverhältnis gemischt werden.

Die Maße der Escape Box sind mit 18 cm × 40 cm × 33 cm (H × B × T) größer als notwendig. Sind alle Boxen in der Escape Box so groß, dass die Rätsel gut hineinpassen, aber kein Platz verschwendet wird, so könnte die Escape Box ohne Probleme verkleinert werden. Dies wäre für Lagerungsmöglichkeiten in Schulen von Vorteil, da die Escape Boxen dann weniger Platz beanspruchen und einfacher unterzubringen sind. Eine grobe Abschätzung der minimal benötigten Maße entspricht 10 cm × 30 cm × 18 cm (H × B × T).

6. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieser Arbeit war, ein Escape Game für die 10. Klasse Physik zu entwickeln, welches in der Schule eingesetzt werden kann. Es soll Inhalte der Mittelstufe Physik wiederholen und den Schüler*innen Physik als motivierendes Erlebnis vermitteln. Aus dieser Idee heraus entstand die Escape Box Physik, welche in mehreren Boxen verschiedene Rätsel für die Schüler*innen bereithält. An jedes Rätsel sind dabei bestimmte Anforderungen gestellt, die durch den Bildungskontext gegeben sind.

Die Escape Box als Konzept ist geeignet für den Einsatz in der Schule. Sie kann kostengünstig hergestellt werden, besitzt ein klares Lernziel und ist wiederverwendbar. Eine Gruppe mit Teilnehmer*innen der 10. Klasse hat bereits gezeigt, dass sie die Escape Box in der vorgegebenen Zeit lösen konnte. Für einen flächendeckenden Einsatz an Schulen ist es dennoch sinnvoll, weitere Tests mit der Zielgruppe durchzuführen und die Rätsel der Escape Box Physik zu optimieren. Durch weitere Anpassungen der Rätsel an die Zielgruppe soll eine höhere Erfolgsquote und damit ein größeres Erfolgserlebnis und Motivationssteigerung erreicht werden.

Mit der Escape Box Physik kann Schüler*innen in einem spielerischen Setting physikalische Denk- und Arbeitsweise vermittelt und gleichzeitig Lehrmaterial der Mittelstufe wiederholt und vertieft werden. Die experimentellen Elemente motivieren die Schüler*innen zu eigenständigem und problemorientiertem Arbeiten. Sie tauschen sich über physikalische Themen aus und diskutieren mit Fachbegriffen. Durch eine geführte, überwiegend sequentielle Rätselstruktur beteiligen sich die Schüler*innen zusammen an den gleichen Lernprozessen und wiederholen so viele Inhalte der Mittelstufe Physik. Die positiven Rückmeldungen und eigenen Beobachtungen zeigen, dass die Escape Box geeignet ist, um physikalisches Wissen mit spielerischem Escape Game Kontext zu kombinieren und dadurch die Freude an der Wissenschaft Physik zu steigern. Wie nachhaltig dieser Effekt von Motivation und Lernzuwachs ist, könnte in einer nachfolgenden wissenschaftlichen Studie untersucht werden.

Literatur

- [1] Alice Veldkamp u. a. „Escape education: A systematic review on escape rooms in education“. In: *Educational Research Review* 31 (2020), S. 100364. ISSN: 1747-938X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100364>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X20300531>.
- [2] Markus Wiemker, Errol Elumir und Adam Clare. „Escape Room Games: „Can you transform an unpleasant situation into a pleasant one?““ In: *Game based learning - dialogorientiertes & spielerisches lernen digital und analog*, FH St. Plöten (2015), S. 55–75. URL: <https://phaidra.fhstp.ac.at/detail/o:3490> (besucht am 04.07.2023).
- [3] Autorengruppe der Deutsche Physikalische Gesellschaft. *Physik in der Schule - Hauptteil*. 2016. URL: <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/studien-der-dpg/pix-studien/studien/schulstudie-2016/schulstudie-hauptteil.pdf> (besucht am 17.07.2023).
- [4] Reinders Duit, Maike Tesch und Silke-Mikelskis-Seifert. „PIKO - Brief Nr. 7 - Das Experiment im Physikunterricht“. In: *Physik im Kontext* (2007). URL: <https://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe032010.pdf> (besucht am 08.08.2023).
- [5] Tobias Gmach. *Trend-Spiel „Escape Rooms“: Alle Anbieter aus München im Überblick*. 2017. URL: <https://www.tz.de/muenchen/stadt/escape-rooms-hier-kann-man-sich-in-muenchen-einsperren-lassen-zr-7379253.html> (besucht am 04.07.2023).
- [6] escaperoomgames.de. *Ursprung der Live Escape Room Games*. URL: <https://www.escaperoomgames.de/ursprung-live-escape-room-games> (besucht am 04.07.2023).
- [7] kosmos.de. *Was ist „EXIT® – Das Spiel“?* URL: <https://www.kosmos.de/de/content/Markenwelten/EXIT/EXIT-Markenwelt> (besucht am 04.07.2023).
- [8] Simon Josef Roth, Simon Goertz und Heidrun Heinke. „Ein Escape-Game zur Förderung experimenteller Kompetenzen - Gestaltung des finalen Rätsels „Geldkoffer““. In: *PhyDid B - Didaktik Der Physik - Beiträge Zur DPG-Frühjahrstagung* (2021). URL: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1131> (besucht am 04.07.2023).
- [9] Breakout EDU. *Unlock the love of learning!* URL: <https://www.breakoutedu.com/> (besucht am 04.07.2023).
- [10] Scott Nicholson. *Peeking behind the locked door: A survey of escape room facilities*. 2015. URL: <http://scottnicholson.com/pubs/erfacwhite.pdf> (besucht am 04.07.2023).

- [11] Mario Grande-de-Prado u. a. „Edu-Escape Rooms“. In: *Encyclopedia* 1 (2021), S. 12–19. DOI: 10.3390/encyclopedia1010004. URL: <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1010004> (besucht am 04.07.2023).
- [12] Alice Veldkamp u. a. „Escape boxes: Bringing escape room experience into the classroom“. In: *British Journal of Educational Technology* 51 (2020), S. 1220–1239. DOI: 10.1111/bjet.12935. URL: <https://doi.org/10.1111/bjet.12935> (besucht am 04.07.2023).
- [13] Agoritsa Makri, Dimitrios Vlachopoulos und Richard A. Martina. „Digital Escape Rooms as Innovative Pedagogical Tools in Education: A Systematic Literature Review“. In: *Sustainability* 13.8 (2021). ISSN: 2071-1050. DOI: 10.3390/su13084587. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/8/4587>.
- [14] Bertelsmann Stiftung u. a. *OECD Lernkompass 2030*. 2020. URL: <https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/publikationen/publikation/did/oecd-lernkompass-2030-all> (besucht am 07.07.2023).
- [15] Bri Stauffer. *What Are 21st Century Skills?* 2023. URL: <https://www.aeseducation.com/blog/what-are-21st-century-skills> (besucht am 07.07.2023).
- [16] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. *Bildungsplan des Gymnasiums - Physik*. 2016. URL: <https://www.bildungsplaene-bw.de/Lde/LS/BP2016BW/ALLG/GYM/PH> (besucht am 07.07.2023).
- [17] Chantal Lathwesen und Nadja Belova. „Escape rooms in stem teaching and learning—Prospective field or declining trend? A literature review“. In: *Education Sciences* 11.6 (2021), S. 308.
- [18] Michael Sailer. „Gamification“. In: *Die Wirkung von Gamification auf Motivation und Leistung: Empirische Studien im Kontext manueller Arbeitsprozesse*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016, S. 5–43. DOI: 10.1007/978-3-658-14309-1_2. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-658-14309-1_2.
- [19] Hannes Nitsche. „Entwicklung einer digitalen Escape Story zur Radonbelastung“. In: *Technische Universität Dresden* (2021). URL: https://iktp.tu-dresden.de/IKTP/pub/21/Stexarbeit_Hannes_Nitsche.pdf (besucht am 31.07.2023).
- [20] Astrid Mayer. „Der Escape Room als Variante des problemorientierten Physikunterrichts: Eine explorative Studie zum Thema Optik“. In: *Pädagogische Hochschule Oberösterreich* (2022). URL: <https://epub.jku.at/obvulihs/download/pdf/7965039?originalFilename=true> (besucht am 11.07.2023).
- [21] Strasser. *Das Verließ des Herrn Möllermann*. 2021. URL: http://textadventures.co.uk/games/view/g_z4yhau4kcal_wbb10qhq/das-verliess-des-herrn-mollermann (besucht am 11.07.2023).
- [22] Sandra Baum. *Der Schatz des Science Centers*. 2022. URL: https://elibrary.utb.de/doi/abs/10.5555/up-191-2022_02 (besucht am 11.07.2023).
- [23] eduki. *Elektrizität – Escape Room*. 2021. URL: <https://eduki.com/de/material/385780/elektrizitat-escape-room> (besucht am 11.07.2023).

-
- [24] Franziska Greinert u. a. *Ein spielerischer Einstieg in die Quantenprogrammierung mit QuantumVR*. 2022. URL: <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1240> (besucht am 11.07.2023).
- [25] Robert Richter. *Mit Quantenphysik aus dem Escape Room*. URL: <https://www.tu-berlin/themen/transfer/escape-room> (besucht am 11.07.2023).
- [26] Susanne Dührkoop und Susanne Hebsaker. *Escapen mit Physik - Ein Escaperoom zur Festigung des Grundwissens der 7. und 8. Klasse G9 Gymnasium Physik*. 2021. URL: https://publikation.alp.dillingen.de/assets/pdf/publ_1522.pdf (besucht am 11.07.2023).
- [27] etsy. *Physik Escape Room Challenge*. URL: <https://www.etsy.com/de/listing/1095640270/physik-escape-room-challenge> (besucht am 11.07.2023).
- [28] Technoseum Mannheim. *Angebote für Schulen und Kitas*. URL: <https://www.technoseum.de/schulangebote/> (besucht am 12.07.2023).
- [29] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. *Leitfaden für die gymnasiale Oberstufe - Abitur 2023*. URL: https://km-bw.de/site/pbs-bw-km-root/get/params_E-1325001489_Dattachment/11999827/2020-11-05-Leitfaden_Abitur2023.pdf (besucht am 17.07.2023).
- [30] Autorengruppe der Deutsche Physikalische Gesellschaft. *Physik in der Schule - Zusammenfassung*. 2016. URL: <https://www.dpg-physik.de/veroeffentlichungen/publikationen/studien-der-dpg/pix-studien/studien/schulstudie-2016/schulstudie-zusammenfassung.pdf#xml:ch:Z0> (besucht am 17.07.2023).
- [31] Hans Joachim Bezler u. a. *Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht - (RiSU) Empfehlung der Kultusministerkonferenz*. 2019. URL: https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1994/1994_09_09-Sicherheit-im-Unterricht.pdf (besucht am 17.07.2023).
- [32] Softonic. *Anaglyph Maker - Testbericht*. URL: <https://anaglyph-maker.de.softonic.com/> (besucht am 21.07.2023).
- [33] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. *Bildungsplan des Gymnasiums - Biologie*. 2016. URL: https://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_GYM_BIO.pdf (besucht am 21.07.2023).
- [34] schulraetsel.de. *Kreuzworträtsel Wärmelehre*. 2017. URL: https://www.schulraetsel.de/raetsel_waermelehre_1150.html (besucht am 23.07.2023).
- [35] Deutsches Spionagemuseum. *Kryptex - Zwischen Wahrheit, Fiktion und Verschwörungstheorie*. URL: <https://www.deutsches-spionagemuseum.de/sammlung/kryptex> (besucht am 23.07.2023).
- [36] g3org. *Kryptex as container programmable no glue da vinci code geocaching container*. URL: <https://www.thingiverse.com/thing:1412931> (besucht am 16.08.2023).
- [37] Elbenwald. *Da Vinci Code - Kryptex*. URL: <https://www.elbenwald.de/da-vinci-code/da-vinci-code-kryptex> (besucht am 23.07.2023).

- [38] Ruben Brand u. a. *Universum Physik Band 7/8 Gymnasium Baden-Württemberg*. Cornelsen, 2016.
- [39] Claudia Haagen-Schützenhöfer und Martin Hopf. *Schülervorstellungen zur geometrischen Optik*. Hrsg. von Horst Schecker u. a. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018, S. 89–114. DOI: 10.1007/978-3-662-57270-2_5. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2_5.
- [40] Didaktik Physik: Humboldt-Universität zu Berlin. *Glossar - Prinzip Ameise*. URL: <http://didaktik.physik.hu-berlin.de/material/forschung/optik/glossar.htm#ameise> (besucht am 24.07.2023).
- [41] S. Heinicke. „Die Erforschung der Radioaktivität – eine „geheimnisvolle Wissenschaft“.“ In: *Naturwissenschaften im Unterricht-Physik 25* (2014), S. 141/142.
- [42] Horst Schecker u. a. *Schülervorstellungen und Physikunterricht - Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Spektrum, 2018.
- [43] phyphox. *physical phone experiments*. URL: <https://phyphox.org/de/home-de/> (besucht am 16.08.2023).
- [44] Elektronik Kompendium. *LED - Leuchtdioden*. URL: <https://www.elektronik-kompendium.de/sites/bau/0201111.htm> (besucht am 03.08.2023).
- [45] LEIFIphysik. *Zentripetalkraft*. URL: <https://www.leifiphysik.de/mechanik/kreisbewegung/grundwissen/zentripetalkraft> (besucht am 03.08.2023).
- [46] Bartl GmbH. *Mini-Drehkreuz*. URL: <https://bartlshop.de/de/mini-drehkreuz-p2533/> (besucht am 03.08.2023).
- [47] experimentis. *Twinky - Regenbogen-Gucker (4 Motive)*. URL: <https://www.experimentis-shop.de/twinky-regenbogen-gucker-4-motive-detail-1028.html?number=OP03054> (besucht am 14.08.2023).
- [48] AstroMedia. *Twinky*. URL: <https://astromedia.de/Twinky> (besucht am 14.08.2023).
- [49] AUTODESK. *tinkercad*. URL: <https://www.tinkercad.com> (besucht am 15.08.2023).
- [50] Winkler Schulbedarf GmbH. *Magisches Holzkreuz*. URL: https://www.winklerschulbedarf.com/Documents/Anleitungen_Werkpackungen/PDF_Ger/101351.pdf (besucht am 15.08.2023).
- [51] LEIFIphysik. *Unterscheidung von Temperatur und Wärme*. URL: <https://www.leifiphysik.de/waermelehre/temperatur-und-teilchenmodell/aufgabe/unterscheidung-von-temperatur-und-waerme> (besucht am 16.08.2023).
- [52] LEIFIphysik. *Flaschenzugduell*. URL: <https://www.leifiphysik.de/mechanik/einfache-maschinen/aufgabe/flaschenzugduell> (besucht am 16.08.2023).

A. Anhang

A.1. Kostenabschätzung Escape Box Physik

Die Kostenübersicht stellt eine Orientierung für entstehende Kosten pro Escape Box dar. Beim 3D Druck reicht eine Rolle Filament aus, um die unten aufgelisteten Rätsel zu drucken. Die stl-Dateien für den 3D Druck werden zusammen mit der Masterarbeit öffentlich zugänglich gemacht.

Objekt	Preis	Link	Hinweis
Rot-Cyan Brille	Je 0,87€	Link¹	Versandkosten 1,95 €
PLA Filament Natur 3D Druck	16,45€	Link²	
Kryptex - PLA Materialkosten	6,90€	Link³	
4 Taschenlampen mini	13,99€	Link⁴	
Halterungen - PLA Materialkosten	0,70€		
RGB LED	Je 1,99 €	Link⁵	Versandkosten 4,95€
Drucktaster	Je 1,99 €	Link⁶	
Widerstand Set 600 Stück	14,95€	Link⁷	
6 Neodym-Rundmagnete 10 x 4 mm	6,50€	Link⁸	Versandkosten 4,80€
Magnetstab - PLA Materialkosten	0,14€		
Atomaufbau - PLA Materialkosten	0,95€		
Low-current LED rot	Je 0,22 €	Link⁹	
LEDs gelb, grün, rot	Je 0,11 €	Link¹⁰	
Spule - PLA Materialkosten	0,41€		
Spulendraht 0,1 mm	5,25€	Link¹¹	
Drehkreuz/Zauberkreuz	2,95€	Link¹²	
Twinky	Je 1€	Link¹³	
5 Stück Kofferschloss 3-stellig	8,99€	Link¹⁴	
5-stelliges Zahlenschloss mit Farben	8,99€	Link¹⁵	
5-stelliges Buchstabenschloss	12,97€	Link¹⁶	
Gesamtkostenabschätzung:	~100€		

¹<https://www.3d-foto-shop.de/pi8/pd87.htm>

²<https://www.dasfilament.de/filament-spulen/pla-1-75-mm/5/pla-filament-1-75-mm-natur?c=11>

³<https://www.thingiverse.com/thing:1412931>

⁴<https://www.amazon.de/GEARLITE-Taschenlampe-Aluminium-Batterien-Wasserdicht/dp/B09SV34THX/>

A.2. Einführungshinweise und Einführungstext der Escape Box Physik

Zu Beginn der Durchführung werden den Schüler*innen die folgenden Hinweise vorgelesen. Diese dienen dazu, zum einen die Regeln in einem Escape Game klar zu formulieren und zum anderen über benötigte Sicherheitshinweise zu sprechen. Beim Einsatz von Laserpointern sollte hier eine Sicherheitseinweisung stattfinden.

- Zulässige Hilfsmittel sind Stift und Papier, sowie alles, was in der Box zu finden ist. Genaues Lesen hilft!
- Handys und andere Speichermedien sind aufgrund von starken Magneten in weiter Ferne zu verstauen.
- Hinweiskarten liegen bereit. Diese sollen evtl. auftretende Wissenslücken schließen. Traut euch die Hinweiskarten zu nehmen, wenn ihr irgendwo nicht weiter kommt, damit ihr alles rechtzeitig schafft. Die Zahl auf der Hinweiskarte sagt euch, welche Box offen sein muss, um diesen Hinweis zu lesen!
- Manchmal können mehrere Rätsel parallel gelöst werden. Wenn ihr euch aufteilt, könnte das einen zeitlichen Vorteil bringen. Vergesst aber nicht, miteinander eure Erkenntnisse zu teilen.
- Bitte die Schlosskombinationen nach dem Öffnen nicht verändern. Außerdem gehen manche Schlösser etwas ruppig auf, da ggf. stärker dran ziehen oder rütteln.
- Bitte geht mit allem sorgfältig um, scheut euch jedoch nicht, Dinge auszuprobieren. Jetzt bleibt nur noch eines zu sagen: Viel Spaß beim Rätseln und Experimentieren!

Einführungstext:

Die ϕ siker: Über verschiedene Ecken habt ihr erfahren, dass es einen Geheimbund ϕ sik in eurer Schule gibt. Man munkelt, dass die geheimen Treffen nachmittags im Physikraum stattfinden. Zusammen mit euren Freunden wollt ihr diesem Geheimbund beitreten und

⁵<https://www.conrad.de/de/p/thomsen-led-5-rgb-sk-led-rgb-rgb-rund-5-mm-20-ma-6-v-1575784.html>

⁶<https://www.conrad.de/de/p/tru-components-1587872-tc-r13-24a1-05-bl-drucktaster-250-v-ac-1-5-a-1-x-aus-ein-tastend-1-st-1587872.html>

⁷<https://www.conrad.de/de/p/tru-components-tc-10358328-kohleschicht-widerstand-sortiment-axial-bedrahtet-0207-5-1-set-2589582.html>

⁸<https://astromedia.de/Neodym-Magnete-rund-10x4mm>

⁹<https://www.conrad.de/de/p/vishay-tllr-5400-led-bedrahtet-rot-rund-5-mm-1-2-mcd-25-2-ma-1-9-v-186902.html>

¹⁰<https://www.conrad.de/de/p/kingbright-ld-20-gb-5mm-led-bedrahtet-gelb-rund-5-mm-20-mcd-60-20-ma-2-1-v-184900.html>

¹¹<https://www.amazon.de/Kemo-Kupferlackdraht-Durchmesser-L%C3%A4nge-140/dp/B000YIYLTE>

¹²<https://bartlshop.de/de/mini-drehkreuz-p2533/>

¹³<https://astromedia.de/Twinky>

¹⁴https://www.amazon.de/dp/B0BWW4KX82?psc=1&ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details

¹⁵https://www.amazon.de/dp/B017WED4WC?psc=1&ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details

¹⁶https://www.amazon.de/dp/B0833TM71S?ref=ppx_yo2ov_dt_b_product_details&th=1

trefft beim Betreten des Physikraumes auf eine komische Box. Plötzlich fällt die Tür laut ins Schloss und ein Countdown startet. Eine verzerrte Stimme sagt: „Wollt ihr dem Geheimbund *φ*sik beitreten, dann müsst ihr euch als würdig erweisen und alle von uns gestellten Rätsel lösen. Nur wenn ihr alle Rätsel innerhalb von 60 min schafft, können wir eure Aufnahme garantieren. Wenn ihr versagt, werden wir euer unerlaubtes Betreten der Rektorin melden.“ Mit der verschlossenen Tür und dem Countdown bleibt euch nur eines übrig: Ihr gruppiert euch um die Box und legt los!

A.3. Ablaufstruktur der Escape Box für die Lehrkraft

Die in Tabelle A.1 stark reduzierte Ablaufstruktur für die Lehrkräfte gibt einen groben Überblick über die Escape Box und kann während der Durchführung als Hilfestellung verwendet werden.

Box Nr.	Rätselausführung
1: Schwarzes Schloss, 1-4-9	Die große Box 1 lässt sich schnell öffnen, indem mithilfe der 3D Brille erkannt wird, welche 3 Zahlen (1-4-9) im Vordergrund stehen. Offen in der Box liegt das Kreuzworträtsel , das Halbschattenrätsel und zwei Taschenlampen. Das Kreuzworträtsel öffnet die Kryptex mit dem Lösungswort <i>DAMPF</i> . Darin befinden sich Küken und Ei aus Pappe. Das Halbschattenrätsel kann gelöst werden, indem alle Zahlen auf den belegten Feldern addiert werden ($91+18+35+25=169$).
2: Blaues Schloss, 1-6-9	Das Farbadditionsrätsel öffnet die nächste Box 3 mit den 5 Buchstaben: <i>CURIE</i> . Es gibt demnach 5 Lösungen, die weißes Licht ergeben.
3: Buchstaben-schloss, CURIE	Wie gut kennt ihr euch mit Zerfällen aus? (α , β , γ auf Box 1 außen anbringen). Und wie ist eigentlich so ein Atom aufgebaut? Als Ergebnis erhaltet ihr 2 Zahlen vom Zerfall und 3 Zahlen vom Atomaufbau. Mit diesen 5 Zahlen kann das nächste Schloss geöffnet werden (#Protonen, #Neutronen, #Elektronen, #Kernladungszahl Bismut = 12183).
4: Farbiges Schloss, 1-2-1-8-3	Akustik-Domino : bringt alles in die richtige Reihenfolge und berechnet die mathematische Gleichung. Als Ergebnis erhaltet ihr eine blaue 2. Induktionsspule mit Magnetstab bringt rote LED zum Leuchten (Farbe Rot, Zahl 3). Zauberkreuz kann gedreht werden und bringt zum Vorschein eine Grüne 7. Die 3 Zahlen in der richtigen farblichen Reihenfolge (Blau, Grün, Rot = 2, 7, 3) öffnen das nächste, rosa Schloss.
5: Rosa Schloss, 2-7-3	Kinematik : öffnet das letzte Schloss mit 3 Zahlen, welche auf der Karte eingesammelt werden, wenn der richtige Weg gegangen wird.
6: Silbernes Schloss, 1-9-4	In dieser Box befindet sich ein Brief vom Geheimbund und die Twinkys.

Tabelle A.1.: Ablaufstruktur der Escape Box Physik als Hilfestellung bei der Durchführung, für die Lehrkraft.

A.4. Materialien und Dokumente für den Nachbau der finalen Escape Box Physik

Am Ende dieses Kapitels befinden sich einige Seiten welche ausgedruckt, ausgeschnitten und teilweise laminiert werden, um die Rätsel der Escape Box Physik nachzubauen. Hinweise sind in diesem Druckdokument *kursiv* dargestellt. Weitere Materialien, Schaltpläne, Schlösser und Tipps, welche für den Nachbau der Escape Box Physik benötigt werden, sind nachfolgend aufgelistet. Zudem finden sich einige Links zu Materialien in der Tabelle der Kostenabschätzung in Anhang A.1.

Optik: 3D Sehen

Für das Rätsel benötigte Materialien sind das ausgedruckte und laminierte Anaglyphenbild (vgl. Druckdokument) sowie eine rot-cyan Filterbrille. Diese ist kostengünstig erhältlich (vgl. Anhang A.1).

Wärmelehre: Kreuzworträtsel

Das **Kreuzworträtsel** ist nach [34] aufgebaut. Die Fragen im Druckdokument werden ausgeschnitten, laminiert und offen in Box 1 hineingelegt. Das Kreuzworträtsel wird auch ausgeschnitten, laminiert und an Box 1 außen angebracht. Ein Folienstift liegt in Box 1 bereit, damit das Kreuzworträtsel ausgefüllt werden kann. Über das Zeichen π auf dem Rätsel und auf der Kryptex wird der Zusammenhang, zwischen Lösungswort und Schloss/Geheimversteck hergestellt. Die Lösung für das Kreuzworträtsel ist folgende:

Horizontal →

- 1: Gefrierpunkt
- 3: Fahrenheit
- 5: Gasfoermig
- 7: Thermometer
- 9: Fluessig

Vertikal ↓

- 2: Celsius
- 3: Fest
- 4: Siedepunkt
- 6: Eis
- 8: Kelvin

Mit dem Lösungswort *DAMPF* kann die **Kryptex** geöffnet werden, auf welcher ebenfalls ein π steht (mit Edding auf die flache Seite geschrieben). Diese wurde 3D gedruckt mit einer Vorlage aus Thingiverse¹⁷.

¹⁷<https://www.thingiverse.com/thing:1412931>

Optik: Schattenphänomene

Im Geheimversteck der Kryptex befinden sich die Papp-Figuren und der Aufgabentext des Rätsels **Schattenphänomene**. Das Feld ist auf den Boden von Box 1 geklebt, senkrecht dazu befindet sich der Schirm. Diese Dateien sind im Druckdokument zu finden. Die Taschenlampen mit ihren Halterungen liegen ebenso in Box 1.

Optik: Farbaddition

Die Schaltung der Farbaddition mit der RGB LED ist in Abbildung A.1 dargestellt. Da jede LED eine andere Schwellspannung aufweist, wurden hier unterschiedliche Vorwiderstände benutzt. Am roten Pin ist ein Vorwiderstand von $470\ \Omega$, am blauen Pin ein Vorwiderstand von $470\ \Omega$ und am grünen Pin ein Vorwiderstand von $1\ \text{k}\Omega$ eingebaut. Da das weiße Licht schlussendlich einen leichten Blaustich hatte, bietet es sich ggf. an beim blauen Pin einen Vorwiderstand von $680\ \Omega$ zu nutzen. Wenn die Schaltung in einen Holzkasten eingebaut wird, müssen die verschiedenen elektronischen Bauteile miteinander verlötet werden. Mit Abisolierband sollten leitfähige Stellen abgeklebt werden, um Kurzschlüsse zu vermeiden. Das Lösungswort *CURIE*, welches beim Farbadditionsrätsel herauskommt, kann am Buchstabenschloss an Box 3 eingegeben werden. Dies ist in Abbildung A.2 dargestellt.

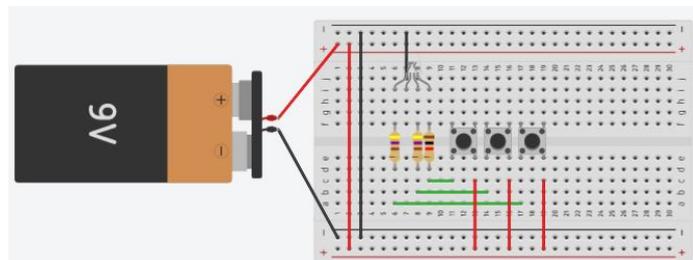


Abbildung A.1.: Schaltskizze der RGB LED im Rätsel **Farbaddition**, gestaltet in tinkercad [49]. Über die drei Taster werden die einzelnen Pins der LED angesteuert.



Abbildung A.2.: Die mit einem Buchstabenschloss gesicherte Box 3.

Struktur der Materie: Zerfall

Die für dieses Rätsel benötigten Materialien befinden sich alle im Druckdokument am Ende dieses Kapitels. Es bietet sich an, das Zerfallsdiagramm zu laminieren.

Struktur der Materie: Atomaufbau

Dieses Rätsel benötigt ein 3D gedrucktes Atom-Anschauungsmodell, in welches die Neodym-Magnete eingesetzt werden, sowie den 3D gedruckten Magnetstab. Nach etwa 2 min Druckzeit werden die Neodym-Magnete in den Stab eingesetzt, bevor dieser weiterdruckt.

Die Lösungszahlen von Zerfallsrätsel und Atomaufbau-Rätsel öffnen zusammen das Schloss an Box 4. Dieses Schloss ist ein Farbschloss, welches problemlos durch ein normales, fünfstelliges Schloss ersetzt werden kann. Es muss insgesamt klar sein, an welchen Stellen welche Lösungszahl eingesetzt wird, was auch durch Farbmarkierungen erreicht werden kann. Box 4 ist in geschlossenem Zustand mit Farbschloss in Abbildung A.3 dargestellt. Als Box wurde die Verpackung einer Eiscreme gewählt, da die Maße gut passten.



Abbildung A.3.: Box 4 in geschlossenem Zustand mit Farbschloss.

Akustik: Domino

Die für dieses Rätsel benötigten Materialien befinden sich alle im Druckdokument am Ende dieses Kapitels.

Elektromagnetismus: Induktion

Die in diesem Rätsel gewickelte Spule wird durch einen 0,1 mm Kupferlackdraht um ein 3D gedrucktes Objekt realisiert. An den Enden des Drahtes wird der isolierende Lack vorsichtig entfernt, sodass er an die Füße der low-current LED gelötet werden kann (vgl. Abb. A.4). Dabei ist es egal, welches Drahtende an welches LED Ende kommt. Die anderen

beiden LEDs (Grün und Gelb) sind mit Heißkleber von unten festgemacht. Das braune Abisolierband verhindert einen Kurzschluss.



Abbildung A.4.: Lötstelle des Kupferlackdrahtes an der low-current LED, integriert in dem 3D gedruckten Induktionsspulen-Konstrukt.

Mechanik: Zentripetalkraft

Das Zauberkreuz (auch Magisches Kreuz oder Drehkreuz genannt) aus Holz kann entweder bestellt, siehe Anhang A.1, oder selbst gebaut werden. Eine beispielhafte Anleitung findet sich hier: [50]. Auf die Innenseite des Drehkreuzes wird eine bunte Zahl geschrieben, welche die Lösungszahl für dieses Rätsel darstellt. Hier wurde eine grüne 7 gewählt. Die Lösungszahlen der drei Rätsel in Box 4 werden am Schloss von Box 5 in farblich korrekter Reihenfolge eingegeben (vgl. Abb. A.5).



Abbildung A.5.: Box 5 in geschlossenem Zustand mit dreistelligem Zahlenschloss. Der Farbcode links gibt Aufschluss über die Reihenfolge der Lösungszahlen.

Mechanik: Kinematik

Die für dieses Rätsel benötigten Materialien befinden sich alle im Druckdokument auf den nachfolgenden Seiten dieses Kapitels. Auch hier ist es empfehlenswert, die Tabelle und das $v-t$ -Diagramm mit der Karte zu laminieren.

Auflösung

Der Text in der letzten Box befindet sich im Druckdokument. Die Twinkys müssen bestellt werden. Eine Möglichkeit des Onlineversandes wird in Anhang A.1 aufgezeigt.

Optik: Strahlenmodell

Für das **Strahlenmodell**-Rätsel wurden mithilfe eines Glasschneiders kleine Spiegelfragmente gebrochen. Diese wurden mit Heißkleber in einem lasergeschnittenen Holzkasten so geklebt, dass der Reflexionswinkel von einfallenden Lichtstrahlen 45° beträgt (vgl. Abb. A.6). Die Aufgabenstellung mit Laserwarnhinweis, sowie die Datei für den Lasercutter ist im Druckdokument zu finden. Ebenso befindet sich am Ende dieses Druckdokuments die Vorlage des Holzkastens für den Lasercutter.

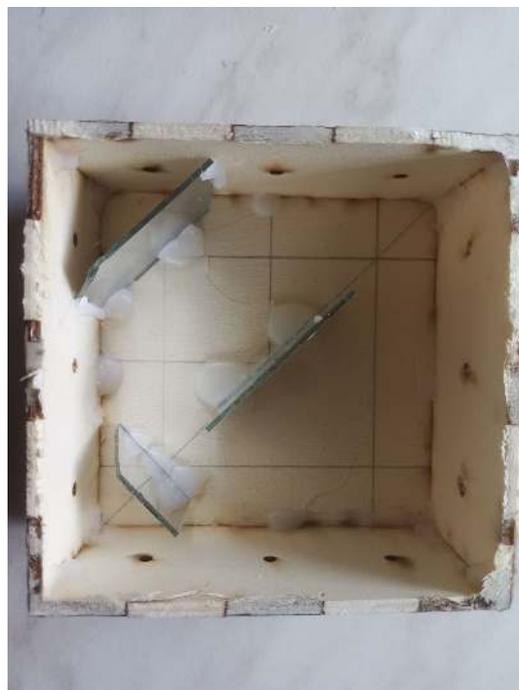


Abbildung A.6.: Holzkasten des **Strahlenmodell**-Rätsels in offenem Zustand mit drei geklebten Spiegeln. Die Bleistiftstriche verdeutlichen den Weg des Lichts.

Elektrizitätslehre: Widerstand

Das Aufwändige am **Widerstandsrätsel** ist der Fensterkomparator, welcher verhindert, dass die LED aufgrund von falsch gewählten Widerständen kaputt geht. Dieser ist in Abbildung A.7 dargestellt. Der zugehörige Schaltplan ist am Ende dieses Kapitels beigefügt, erstellt in [49]. Weitere für das Rätsel benötigte Materialien sind auf den nachfolgenden Seiten dieses Kapitels zu finden.

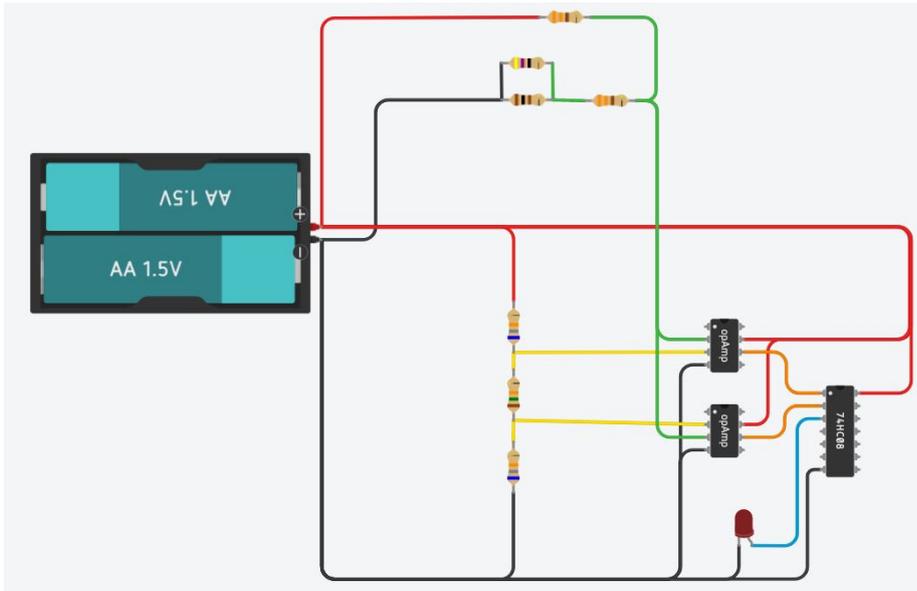
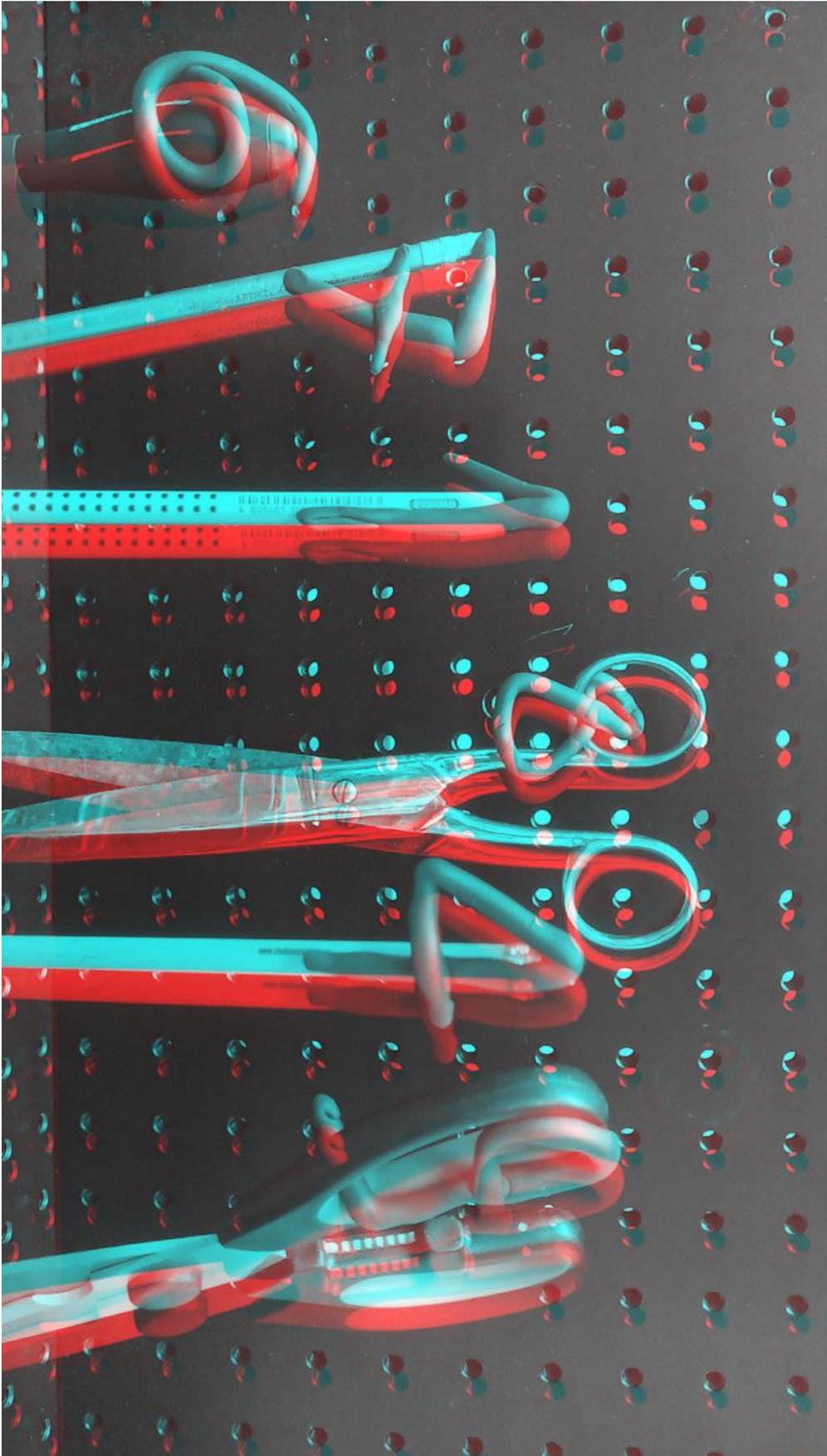


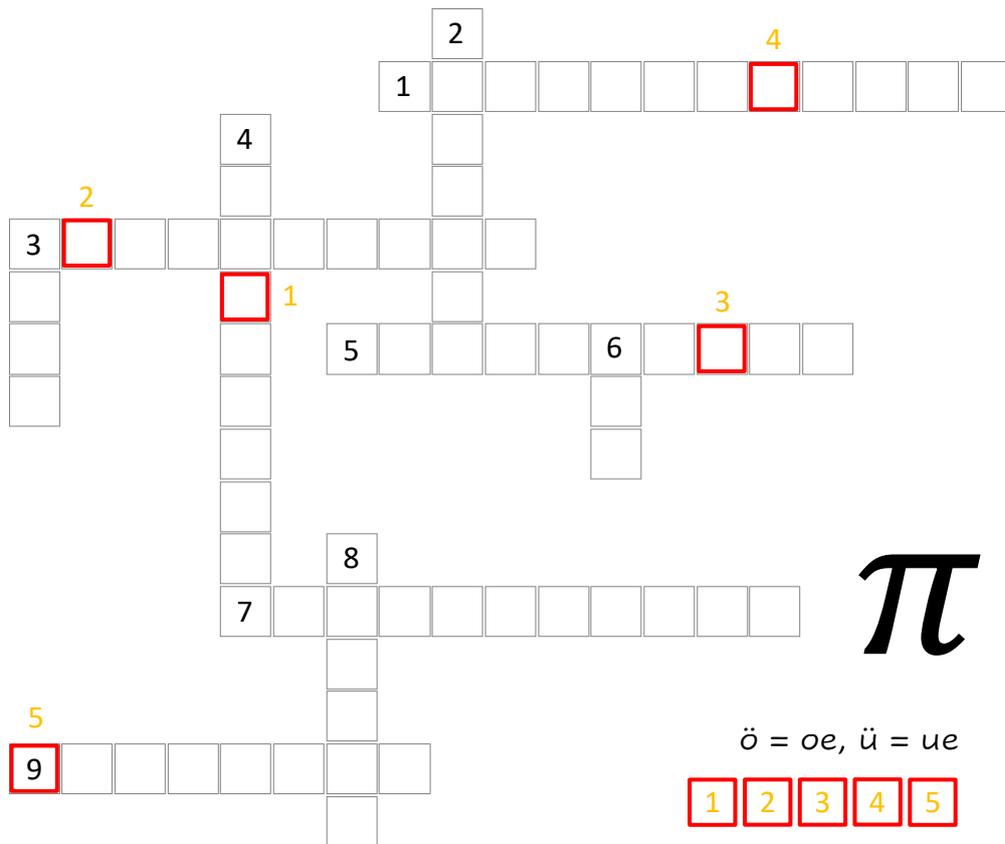
Abbildung A.7.: Schaltskizze des Fensterkomparators, visualisiert in tinkercad [49].

Optik: 3D Sehen



Ihr wollt dem Geheimbund Physik beitreten? Dann beweist euer Können! Beginnt mit den 3 Zahlen, die im Vordergrund stehen (von links nach rechts).

Wärmelehre: Kreuzworträtsel *Das Kreuzworträtsel am besten Laminieren!*



Horizontal →

Vertikal ↓

1: Wird Wasser kälter als 0°C wird es (unter Normaldruck) zu Eis. Wie heißt dieser Punkt?

2: Wie heißt der Erfinder der in Deutschland verwendeten Temperaturskala mit Nachnamen?

3: In den USA wird die Temperatur in ... gemessen.

3: Welchen Aggregatzustand hat Holz?

5: Welchen Aggregatzustand hat Luft?

4: Bei 100°C fängt Wasser an zu kochen. Wie heißt dieser Punkt?

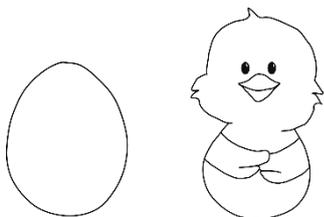
7: Damit bestimmt man die Temperatur.

6: Wie nennt man den festen Zustand von Wasser?

9: Welchen Aggregatzustand hat Wasser?

8: Die SI-Einheit der Temperatur ist hingegen

Optik: Schattenphänomene

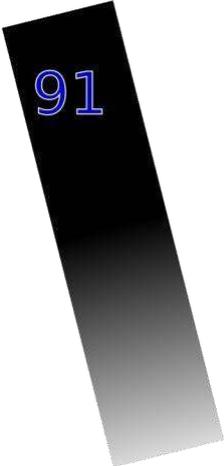
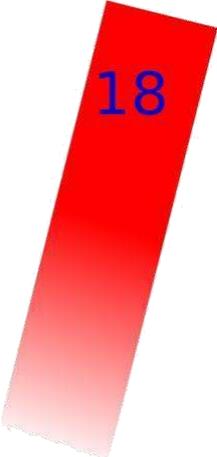


Vorlage für Pappe Ei und Pappe Küken, sowie die Aufgabenstellung rechts. Diese drei Dinge sind in der Kryptex zu finden.

Rekonstruiert das Bild als Schatten auf dem Schirm, indem ihr das Pappe-Küken, das Pappe-Ei und die Taschenlampen auf den richtigen Feldern positioniert.

Addiert die Zahlen auf den ausgewählten Feldern um das nächste Schloss zu öffnen!

83	56
25	17
93	44
75	35
26	81





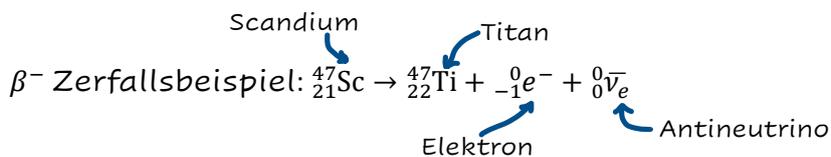
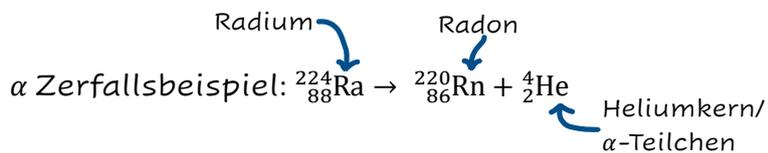
An dieser Falz wird das Feld senkrecht angeklebt. Das Feld darf nur seitlich zugeschnitten werden! Im Idealfall steht das Pappe Küken auf dem Feld mit der Nr. 25 und das Pappe Ei auf dem Feld mit der Nr. 35.

Optik: Farbaddition

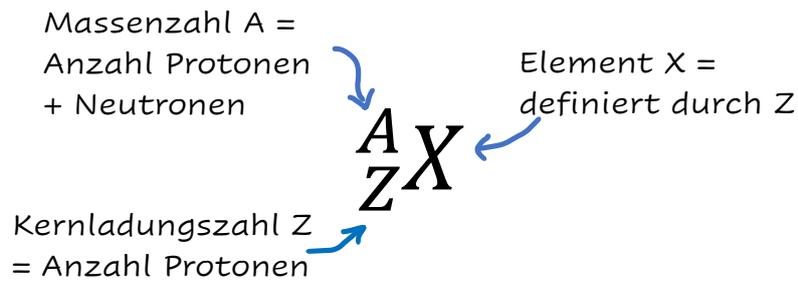
Was ergibt weiß?

Magenta + Blau **S**
Rot + Cyan **C**
Gelb + Grün **H**
Gelb + Magenta + Cyan **U**
Magenta + Grün **R**
Cyan + Grün **B**
Rot + Gelb + Blau **A**
Blau + Gelb **I**
Magenta + Blau **S**
Blau + Rot + Grün **E**

Struktur der Materie: Zerfall



γ Übergang: elektromagnetische Strahlung, keine Änderung der Kern Kennzahlen.

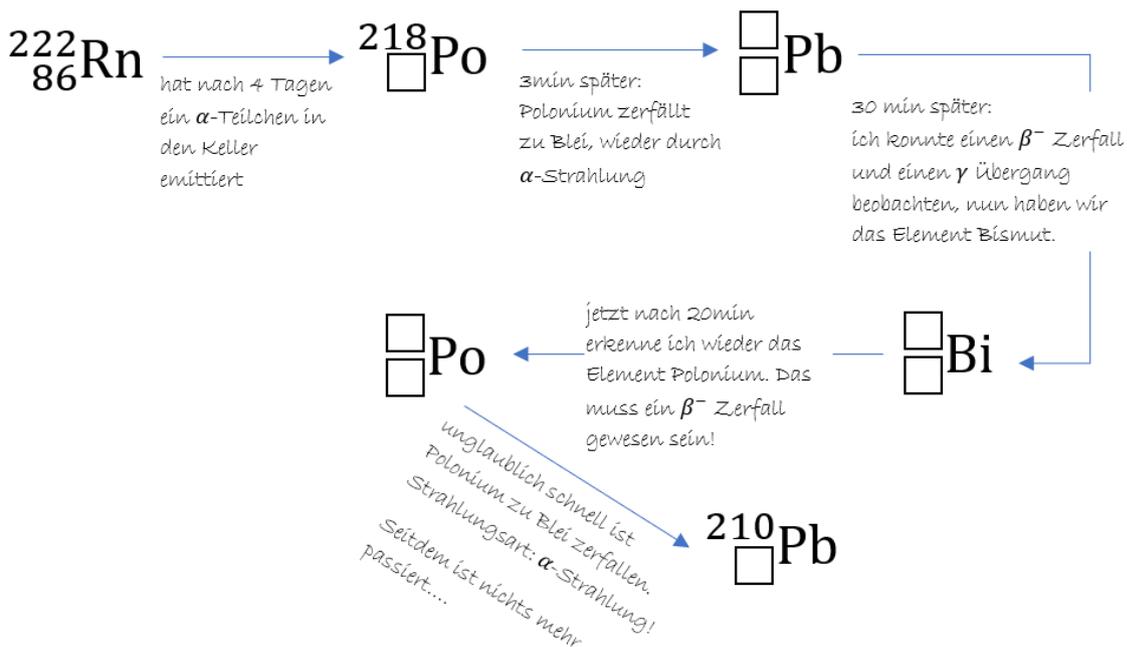


Diese zwei Hilfsmittel für das Zerfallsrätsel sind an Box 1 außen anzubringen. Das nachfolgende Material ist in Box 3 (ein Umschlag reicht!) zu legen. Das Zerfallsdiagramm am besten laminieren!

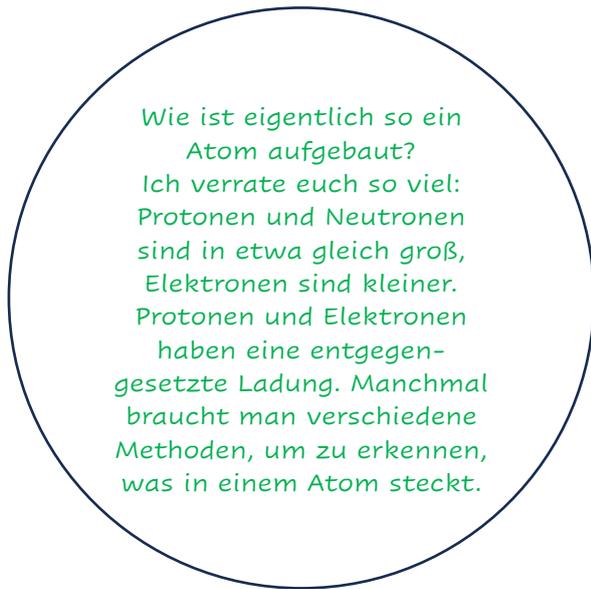
Ein strahlendes Experiment

1898 entdeckte Marie Curie das Element Radium (**Ra**), welches radioaktiv ist und in Radon (**Rn**) zerfällt. Letzte Woche habe auch ich in meinem Keller eine erhebliche Konzentration von dem radioaktivem Edelgas Radon vorgefunden. Neugierig darauf, wie das Radon weiter zerfällt, stellte ich einen Assistenten der Physik in meinem Keller an, um den Zerfall eines Radons zu dokumentieren. Könnt ihr mithilfe seiner Notizen den Zerfall rekonstruieren?

Übrigens: Nach seiner Messung habe ich meinen Keller längere Zeit gelüftet, um das schwere und radioaktive Radon herauszubekommen.



Struktur der Materie: Atomaufbau



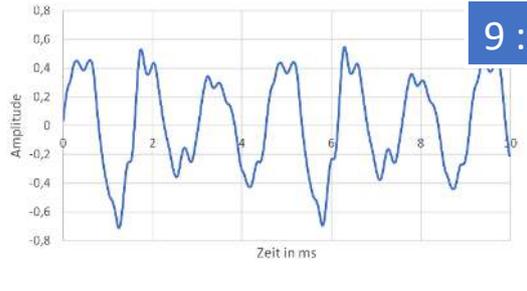
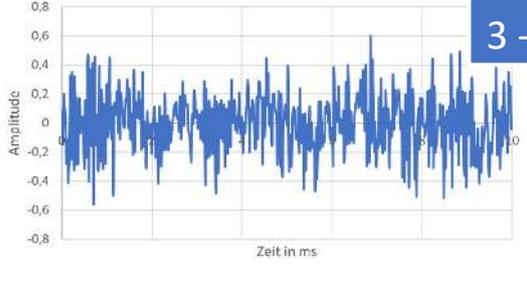
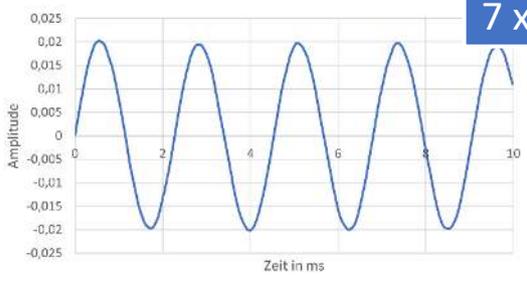
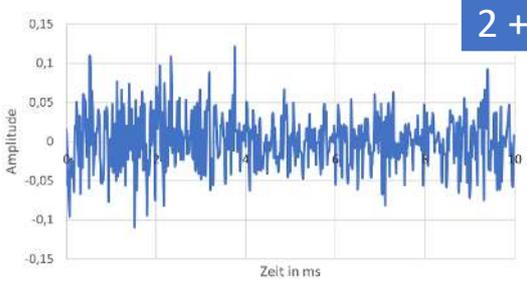
Box 3 enthält zwei Rätsel für euch. Ihr benötigt die Lösung von beiden, um Box 4 zu öffnen!

Dieses Schloss kann geöffnet werden mit:
Anzahl Protonen, Anzahl Neutronen und Anzahl Elektronen des Atoms sowie der Kernladungszahl Bismut

Dieser Hinweis klebt auf Box 4, neben dem farbigen Schloss. Der Kasten klebt auf oder in Box 3.

Akustik: Domino

<h1>Start</h1> <p>Hinweis: befolgt alle mathematischen Regeln, um die richtige Endziffer zu erhalten!</p>	<p>Amplitude</p> <p>Zeit in ms</p>
<p>Trommel</p> <p>Diese Trommel hat den tiefsten Ton, im Vergleich zu den anderen abgebildeten Instrumenten. Erstaunlicherweise schwingt sie mit genau einer Frequenz.</p>	<p>Amplitude</p> <p>Zeit in ms</p>
<p>Klavier</p> <p>Hier wurde der Grundton a angespielt. Die Klangfarbe bildet sich durch die mitschwingenden Obertöne. Im Vergleich zum Cello sind es deutlich weniger Obertöne.</p>	<p>Amplitude</p> <p>Zeit in ms</p>

<p>Hintergrund</p> <p>Das Hintergrundgeräusch einer Stadt ist sehr leise, aber dennoch wahrzunehmen.</p>	 <p>Amplitude</p> <p>Zeit in ms</p> <p>9 :</p>
 <p>Cello</p> <p>Mit einem Bogen wurde über die a-Saite gestrichen. Die Schwingung der Grundfrequenz und die zugehörigen Obertonschwingungen bilden zusammen einen zauberhaften Klang.</p>	 <p>Amplitude</p> <p>Zeit in ms</p> <p>3 -</p>
 <p>Becken</p> <p>Schlägt man mit dem Trommelstock auf das Becken, so entsteht ein lautes Geräusch.</p>	 <p>Amplitude</p> <p>Zeit in ms</p> <p>7 x</p>
 <p>Stimmgabel</p> <p>Dieses Hilfsmittel schwingt mit einer Frequenz von 440 Hz, dem sogenannten Kammerton.</p>	 <p>Amplitude</p> <p>Zeit in ms</p> <p>2 +</p>
 <p>Papierknäuel</p> <p>Wird Papier zerknüllt, gibt es ein Geräusch. Die Aufnahme ähnelt der des Beckens, ist insgesamt aber deutlich leiser.</p>	<p>0 = ?</p> <p>ENDE</p>

In Box 4 sind drei Rätsel für euch. Kombiniert sie richtig, um weiter zu kommen. Für ein Rätsel benötigt ihr ein Teil, welches ihr bei einem anderen Rätsel schon verwendet habt!

Diesen Hinweis an die Innenseite von Box 4 kleben, sodass er beim Öffnen gesehen wird.

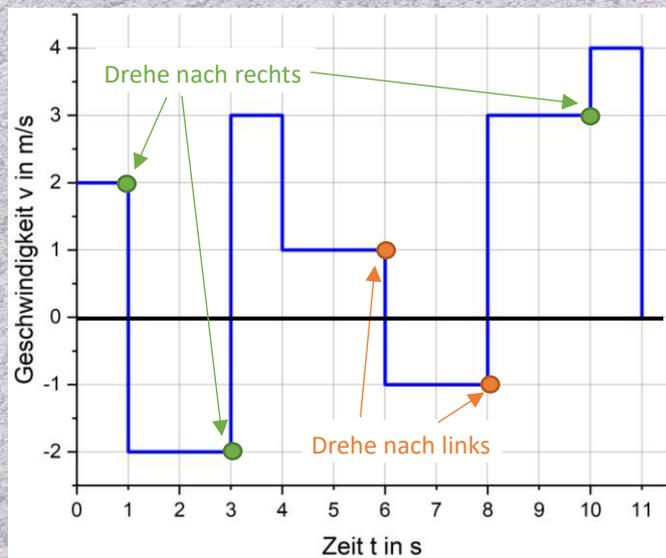
3 Farben, 3 Zahlen,
1 Lösung, 1 Schloss.



Dieser Hinweis ist an Box 5 (oder Umschlag 5) angebracht und erklärt den Schüler*innen, in welcher Reihenfolge die einzelnen Lösungszahlen gelegt werden müssen. In diesem Fall kommt zuerst die blaue 2, dann die grüne 7 und danach die rote 3.

Mechanik: Kinematik

Bis hierher habt ihr euch gut durchgekämpft. Mit diesem letzten Rätsel beweist ihr eure Würdigkeit, um in den Geheimorden ϕ sik aufgenommen zu werden. Findet heraus, welchen Weg ich heute Morgen gefahren bin. Aber passt auf, manchmal bin ich auch rückwärts gefahren! Außerdem habe ich an einigen Stellen ein paar Zahlen für euch hinterlassen...



1 Kästchen $\hat{=}$ 1m

8		4				
					7	
	2		1			
					6	
		↑x	x ←			3
		4				5
			7			
	9				1	
		6				
				9		

Zeitabschnitt	Geschwindigkeit v $v = \frac{s}{t}$ $2 \frac{m}{s}$	Strecke s $2 m$	Drehe nach diesem Streckenabschnitt nach
0s – 1s			rechts
1s – 3s			
3s – 4s			
4s – 6s			
6s – 8s			
8s – 10s			
10s – 11s			

Auflösung

Herzlichen Glückwunsch, ihr habt es geschafft und seid nun offizielle Mitglieder des Geheimbundes ϕ sik. Das Twinky ist eure Eintrittskarte zum nächsten Treffen. Was das Twinky ist und warum man damit Farbspektren sieht, findet ihr am besten selbst heraus!

Damit ihr nicht völlig ahnungslos bei unserem nächsten Treffen seid, hier noch ein paar Informationen zu unserem Geheimbund ϕ sik: Wir wurden 1889 von dem berühmten Joseph von Fraunhofer gegründet. Unsere Aufgabe ist es, Menschen für die Physik zu begeistern und die Schönheit der Natur im kleinsten Detail zu erforschen. Da manche Leute bereits in jungen Jahren von Physik abgeschreckt werden, arbeiten wir im Verborgenen und aktivieren durch subtile physikalische Effekte die Begeisterung für unsere Lieblingsnaturwissenschaft.

Wir freuen uns, dass wir nun neue Mitglieder haben, die uns bei dieser Aufgabe unterstützen. Bis zum nächsten Treffen und vergesst eure Eintrittskarte nicht!

Ab hier optionale Bonusrätsel!

Optik: Strahlenmodell

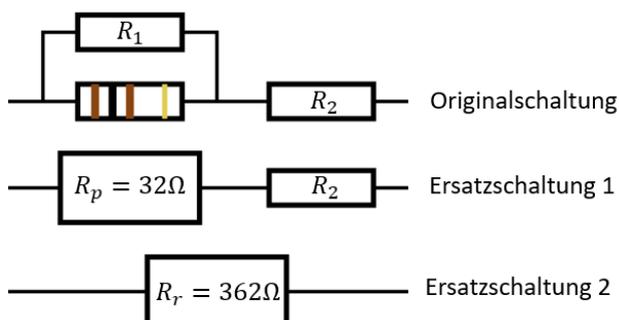
In diesem Kasten sind drei Spiegel versteckt. Findet heraus, an welchen Stellen sie sind, um Box 2 zu öffnen. Was ihr dazu wissen müsst: der Einfallswinkel am Spiegel beträgt immer 45° .

Achtung: Niemals direkt in den Laserstrahl blicken!

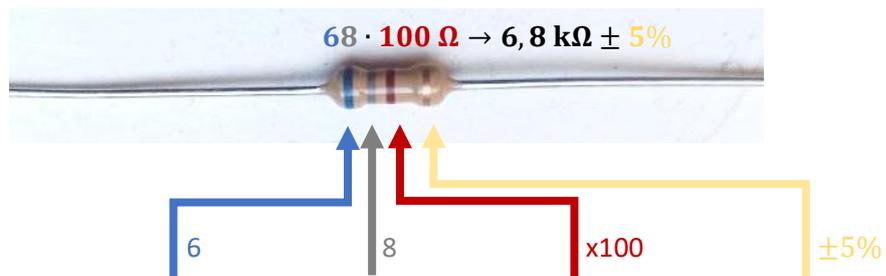
Wenn ihr richtig schnell seid, könnt ihr bestimmt auch meine anderen Rätsel lösen, die ich für euch vorbereitet habe.

Der rechte Kasten kann, falls Bonusrätsel für schnelle Gruppen eingeführt werden, in die Auflösungsbox gelegt werden. Die rechte Aufgabenstellung klebt am Strahlenmodellrätsel auf dem Boden.

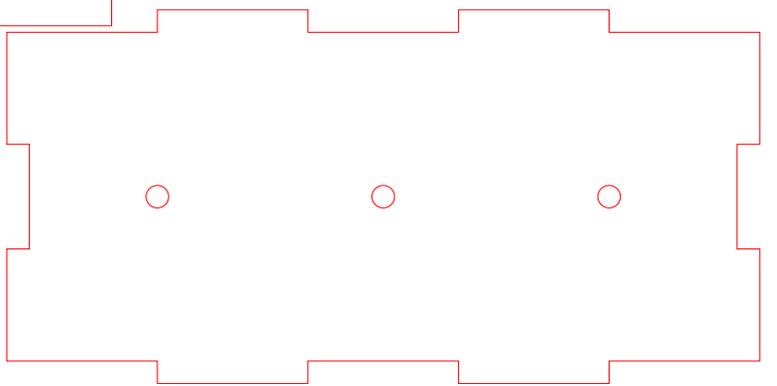
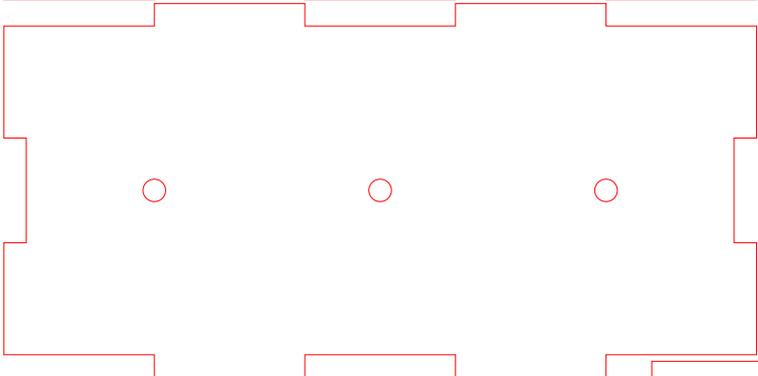
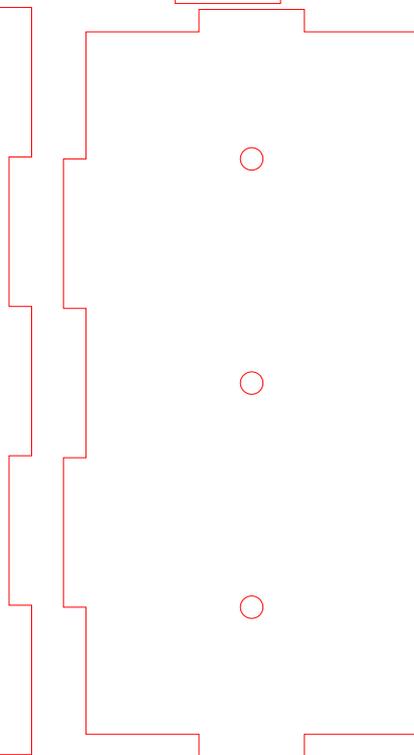
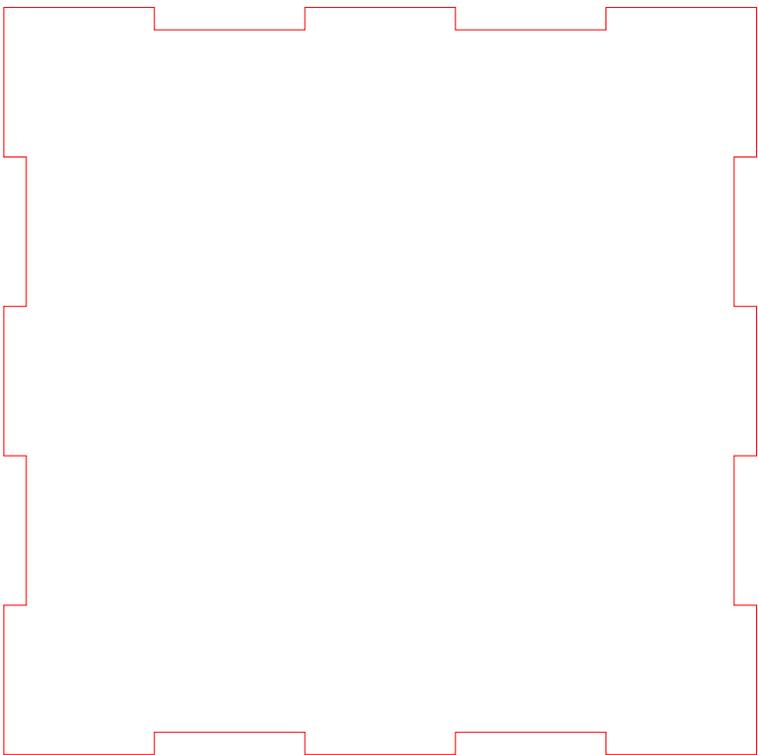
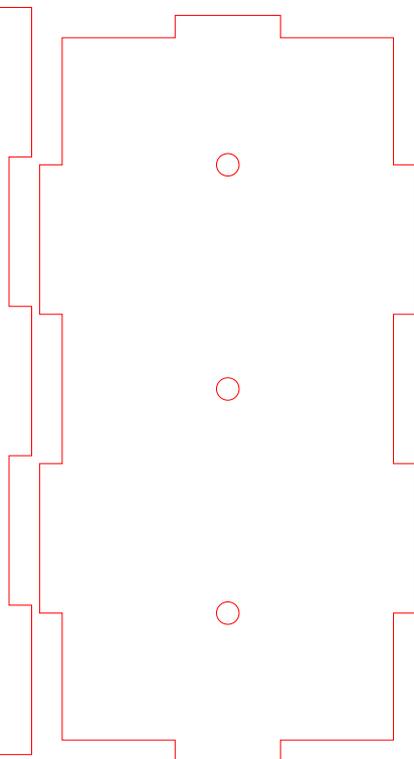
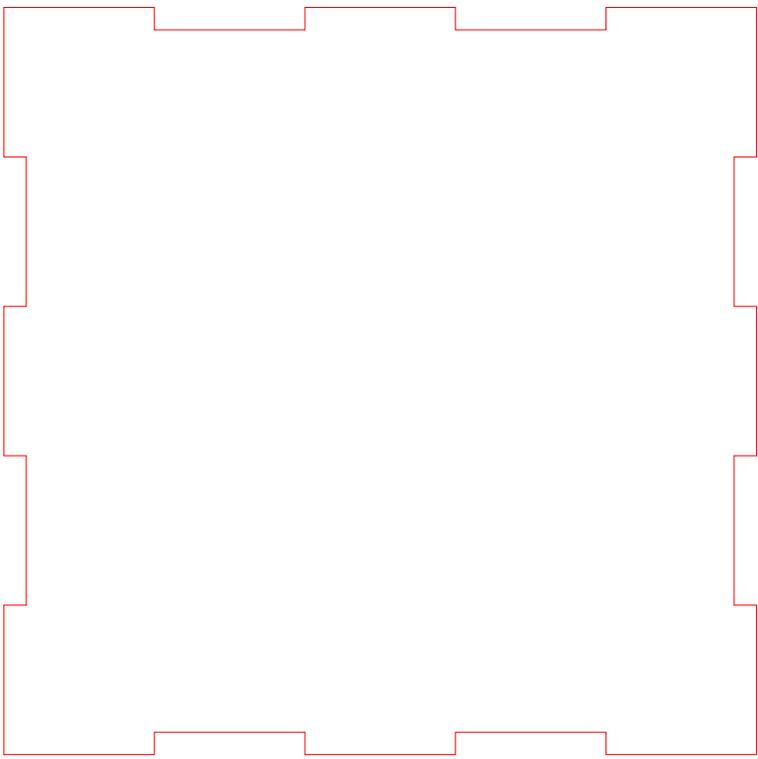
Elektrizitätslehre: Widerstand

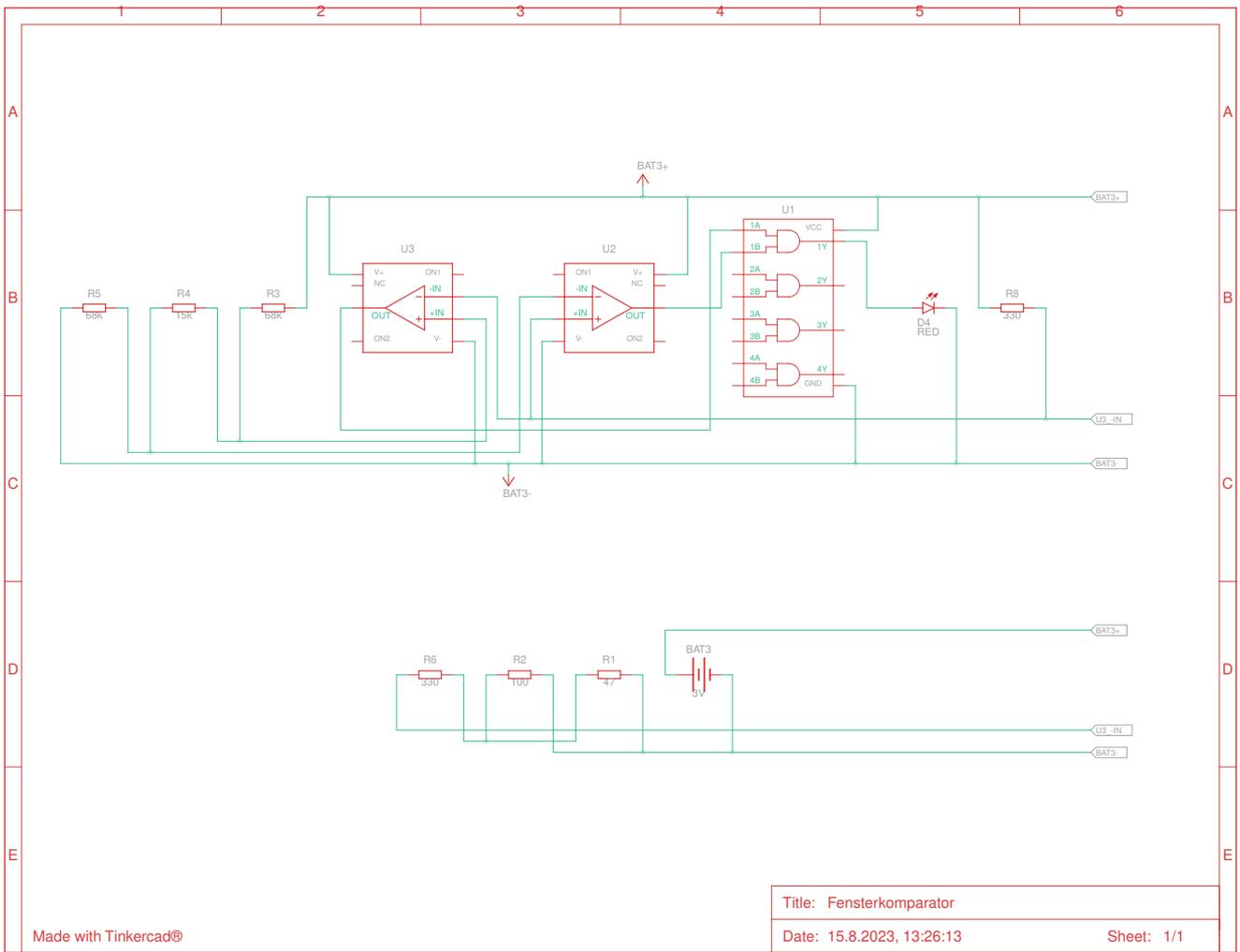


Findet heraus, welche Widerstände euch fehlen. Dafür müsst ihr R_1 und R_2 aus den gegebenen Ersatzwiderständen berechnen. Wenn ihr alles richtig macht, wird euch ein Licht den Weg weisen.



Farbe	1. Ring	2. Ring	Multiplikator	Toleranz
Schwarz	0	0	$\times 1 \Omega$	
Braun	1	1	$\times 10 \Omega$	$\pm 1\%$
Rot	2	2	$\times 100 \Omega$	$\pm 2\%$
Orange	3	3	$\times 1.000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$	
Gelb	4	4	$\times 10 \text{ k}\Omega$	
Grün	5	5	$\times 100 \text{ k}\Omega$	$\pm 0,5\%$
Blau	6	6	$\times 1 \text{ M}\Omega$	$\pm 0,25\%$
Lila	7	7	$\times 10 \text{ M}\Omega$	$\pm 0,1\%$
Grau	8	8		$\pm 0,05\%$
Weiß	9	9		
Gold			$\times 0,1 \Omega$	$\pm 5\%$





Made with Tinkercad®

Title: Fensterkomparator

Date: 15.8.2023, 13:26:13

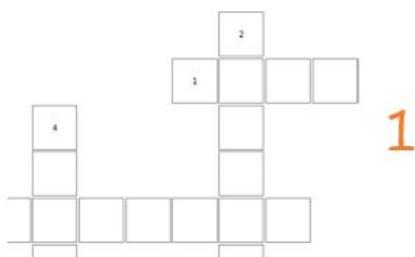
Sheet: 1/1

A.5. Hinweiskarten

Die nachfolgenden Hinweiskarten sollen die Schüler*innen beim Lösen der Rätsel unterstützen. Das Bild gibt an, zu welchem Rätsel die Hinweiskarte gehört. Die orangene Zahl erklärt, in welcher Box sich das Rätsel befindet. Das B steht hierbei für „Bonusrätsel“. Für den Einsatz müssen die Hinweiskarten ausgedruckt und zugeschnitten werden. Es bietet sich an, das Papier doppelseitig zu bedrucken, sodass hinter jedem Bild der zugehörige Text steht.



Erkennt, welche drei Zahlen im Vordergrund stehen. Oft hilft es seinen Kopf oder das Bild zu bewegen, um die relative Position der Zahlen zueinander besser einschätzen zu können.



Vertikal 4: Bei 100°C siedet Wasser bei Normaldruck
Horizontal 1: unter 0°C gefriert Wasser bei Normaldruck
Horizontal 3: Fahrenheit
Horizontal 5+9: Es gibt die Aggregatzustände fest, flüssig und gasförmig.
Achtung: ö = oe, ü = ue.



Erzeugt das Schattenbild, welches auf dem Schirm dargestellt ist! Achtet darauf, dass das Ei einen roten Halbschatten erzeugt (→ rote Lampe leuchtet dort hin, weiße Lampe nicht). Das Küken im Mittelpunkt des Eis ist ein Kernschatten (→ weder rote noch weiße Lampe leuchten dorthin). Das Pappe Küken und Pappe Ei können also nicht hintereinander stehen!



Um die Buchstabenrolle zu öffnen müsst ihr das Kreuzworträtsel lösen und die Buchstaben in richtiger Reihenfolge einstellen. Das Lösungswort ist ein sinngebendes Wort! Sollte sich die Rolle nicht öffnen, versucht sie ganz genau zu justieren.



2

Die Schrauben könnt ihr als Knöpfe verwenden, um die Farben zu mischen. Grundfarben der additiven Farbmischung sind: Rot, Grün und Blau. Mischt ihr zwei Farben mit gleicher Intensität können Magenta (ähnlich zu violett), Cyan und Gelb entstehen. Um weißes Licht zu erzeugen müssen die gleichen Anteile von Rot, Grün und Blau gemischt werden. Insgesamt gibt es 5 Lösungen.



hat nach 4 Tagen ein α -Teilchen in den Keller emittiert

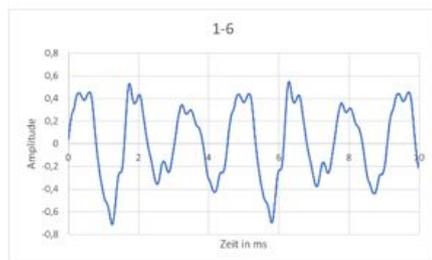
3

Nutzt die Beispiele von α , β und γ Zerfällen, welche an der Box angebracht sind. Wie verändert sich die Massenzahl A und die Kernladungszahl Z bei einem α , β oder γ Zerfall?



3

Das Atom könnt ihr mithilfe des Magnetstabes untersuchen. Elektronen und Protonen unterscheiden sich aufgrund ihrer anziehenden oder abstoßenden Eigenschaft. Haltet ihr den Atomkern ins Licht, könnt ihr Neutronen, Protonen und Elektronen sehen.



4

Sortiert alle Bilder in der richtigen Reihenfolge. Je größer die Frequenz einer Schwingung ist, desto **höher** ist der Ton. Je kleiner die Amplitude einer Schwingung ist, desto **leiser** ist der Ton.

Ein **Ton** besteht aus genau einer Frequenz, ein **Geräusch** hat unregelmäßige, gezackte Schwingungen. Auf der Vorderseite dieser Karte seht ihr einen **Klang** mit mehreren Obertönen.



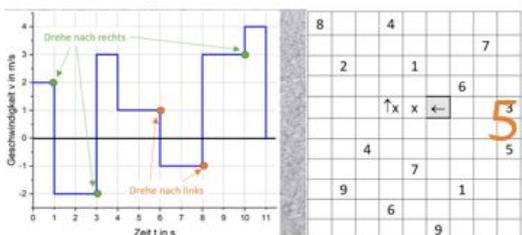
4

Elektrischer Strom kann mittels Induktion erzeugt werden. Die schnelle Änderung des Magnetfeldes in der Spule führt zu einer Induktionsspannung, woraufhin eine der drei Lampen leuchten wird. Falls keine Lampe leuchtet, versucht den Magnetstab wirklich schnell in der Spule hin- und herzubewegen oder probiert es an einer dunkleren Stelle im Raum.



4

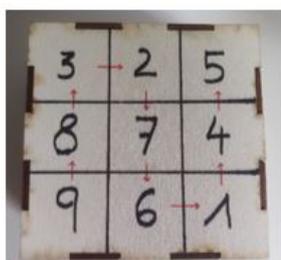
So sieht es von Innen aus:



Schritt 1: Berechnet alle Wegstrecken in der beigefügten Tabelle.

Schritt 2: Ein negativer Weg entspricht dem Rückwärtsfahren!

Schritt 3: Versetzt euch immer in Fahrtrichtung um nach rechts und links zu drehen.
Schritt 4: Zeichnet den Weg nach. Insgesamt sammelt ihr 3 Zahlen ein, welche das letzte Schloss öffnen.



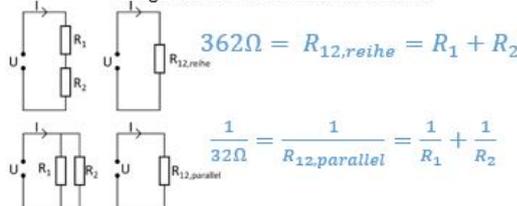
B

Einfallswinkel = Ausfallswinkel → Licht wird innerhalb der Box um 90° reflektiert. Positioniert den Laserpointer bündig an den Löchern und schaut, wo ihr den reflektierten Lichtstrahl seht. Über jedem Spiegel steht eine Zahl. Die Reihenfolge der Zahlen wird durch die roten Pfeile angegeben.



B

Für dieses Rätsel benötigt ihr die Widerstandscodierung, sowie die richtigen Formeln für Ersatzwiderstände:



A.6. Abbau-Anleitung

1. Wischt alle laminierten Oberflächen sauber, sodass keine Farbrückstände zu sehen sind.
2. Verteilt die Materialien vollständig auf die ursprünglichen Boxen, in der Reihenfolge der nachfolgenden Liste.
3. Befestigt die zu den Rätselboxen gehörenden Schlösser und prüft, ob die Schlosskombinationen korrekt sind.
4. Sollte irgendwas kaputt sein oder fehlen, dann meldet es direkt eurer Lehrkraft.

Box 6 enthält:

- ein Brief des Geheimbundes ϕ sik
- mehrere Twinkys
- Box 6 wird mit dem silbernen, dreistelligen Zahlenschloss (Code: 194) gesichert

Box 5 enthält:

- ein laminiertes v - t -Diagramm mit Karte
- eine laminierte Rechentabelle
- optional ein Miniatur Fahrzeug
- Box 5 wird mit dem dreistelligen, rosa Zahlenschloss (Code: 273) gesichert

Box 4 enthält:

- ein Akustik Domino mit insgesamt 8 Karten
- eine Spule mit drei farbigen LEDs
- ein Zauberkreuz aus Holz
- Box 4 wird mit dem fünfstelligen Farbenschluss (Code: 12183) gesichert

Box 3 enthält:

- ein laminiertes Zerfallsrätsel
- eine Geschichte auf Papier, welches das Zerfallsrätsel einleitet
- ein Atom aus Plastik, mit Aufgabenstellung auf der Unterseite
- einen Magnetstab
- Box 3 wird mit dem Buchstabenschloss (Code: CURIE) gesichert

Box 2 enthält:

- Einen Farbenmischer mit Drucktastern
- Box 2 wird mit dem blauen, dreistelligen Zahlenschloss (Code: 169) gesichert

Die Kryptex enthält:

- ein Pappe-Küken mit Halterung
- ein Pappe-Ei mit Halterung
- ein Aufgabentext für das Rätsel **Schattenphänomene**
- Die Buchstabenrolle wird mit dem Lösungswort DAMPF gesichert

Box 1 enthält:

- zwei Taschenlampen

- laminierte Fragen zum **Kreuzworträtsel**
- Non-permanent Stift für laminierte Oberflächen
- ggf. Kugelschreiber sowie Schmierpapier für Notizen
- Boxen 2-6 sowie die Kryptex
- Felder für das Rätsel **Schattenphänomene** auf dem Boden der Box
- Box 1 wird mit dem schwarzen, dreistelligen Zahlenschloss (Code: 149) gesichert

an Box 1 klebt:

- Anaglyphenbild (Bild mit den Zahlen im 3D Effekt)
- zwei Hinweise zu den Zerfällen
- ggf. Farbcodierung zu Widerstände

auf Box 1 liegt:

- insgesamt 13 Hinweiskarten
- eine Rot-Cyan Filterbrille
- eine Einführungsgeschichte in Papier (ggf. laminiert)

A.7. Escape Box Prototyp

Rätselstruktur

Der Escape Box Prototyp unterscheidet sich hinsichtlich des finalen Produkts durch mehr parallele Rätsel und zusätzlichen drei Rätseln. Die genaue Rätselstruktur ist in Abbildung A.8 dargestellt, wobei die blauen Pfeile anzeigen, durch welche Rätsel welche Box geöffnet wird. Die meisten Rätsel sind bereits aus der finalen Version bekannt. Deswegen werden an dieser Stelle lediglich die unbekanntes Rätsel und die Unterschiede aufgeführt. Anstatt der Pappe-Figuren finden sich in dieser Version verschiedene Widerstände in der Kryptex. Ein kleiner Text erklärt den Schüler*innen, dass sie diese Widerstände bei einem späteren Rätsel benötigen. Das Rätsel 5 - **Schattenphänomene** und das Rätsel 8 - **Akustik** sind eine abgewandelte Version der finalen Escape Box, da die Lösungscodes aus beiden Rätseln zusammen den Rätseltext 9 - **Wärmelehre** decodieren.

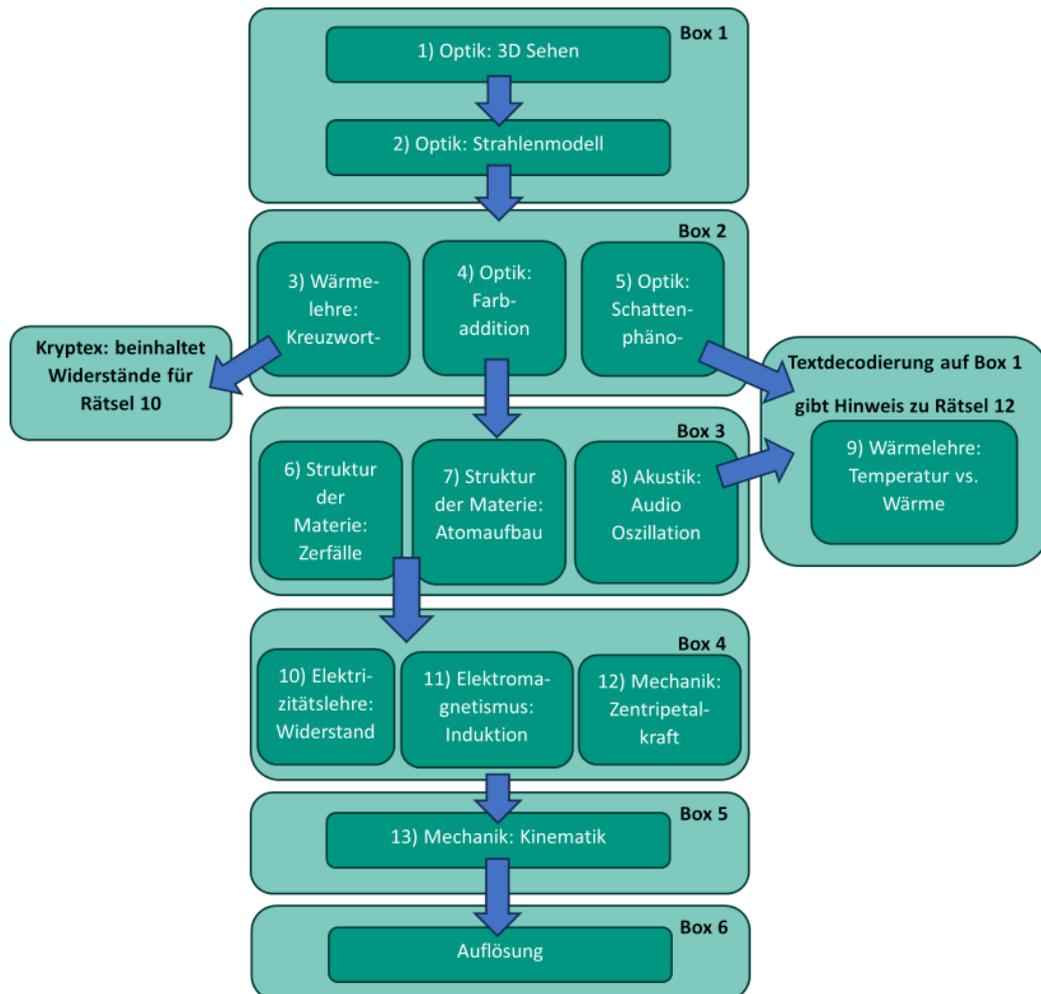


Abbildung A.8.: Rätselstruktur des Escape Box Prototypen.

Optik: Schattenphänomene

Das Rätsel **Schattenphänomene** unterscheidet sich vom finalen Rätsel in Kapitel 4.2.3 darin, dass anstatt einer dreistelligen Lösungszahl mehrere dreistellige Zahlenkombinationen erhalten werden. Dies funktioniert folgendermaßen: Auf den Feldern stehen zwei Zahlen im Format $x-y$. Jedes Objekt (Pappe Figuren und Taschenlampen) ist mit einer weiteren Zahl z beschriftet. Daraus ergibt sich die Zahlenkombination $x-y-z$. Als Beispiel: Steht nun das Pappe Küken mit der Zahl 6 auf dem Feld 2-5, so ergibt sich die Zahlenkombination 2-5-6 (vgl. Abb. A.9). Bei diesem Rätsel gibt es insgesamt vier Zahlenkombinationen, wenn Pappe Ei und Küken sowie die beiden Taschenlampen auf den richtigen Feldern stehen. Diese Zahlenkombinationen werden laut Aufgabenstellung und Hinweiskarte für die Decodierung des Textes **Wärmelehre** benötigt. Die Decodierung funktioniert so, dass die erste Zahl die Zeile, die zweite Zahl das Wort und die dritte Zahl den Buchstaben innerhalb des Wortes angibt. Mit vier Zahlenkombinationen erhält man demnach vier Buchstaben. Weitere sieben Zahlenkombinationen erhalten die Schüler*innen im Rätsel Akustik.

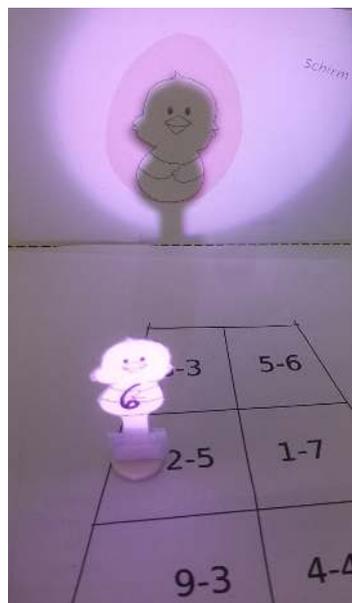


Abbildung A.9.: Das Pappe Küken mit der Zahl 6 steht auf dem Feld 2-5, sodass auf dem Schirm der Schatten des Kükens so groß ist, wie die vorgegebene Zeichnung.

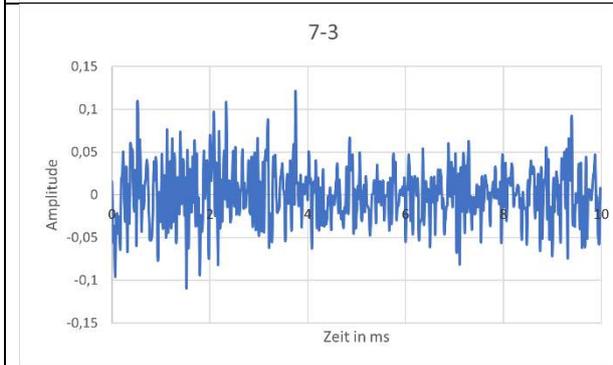
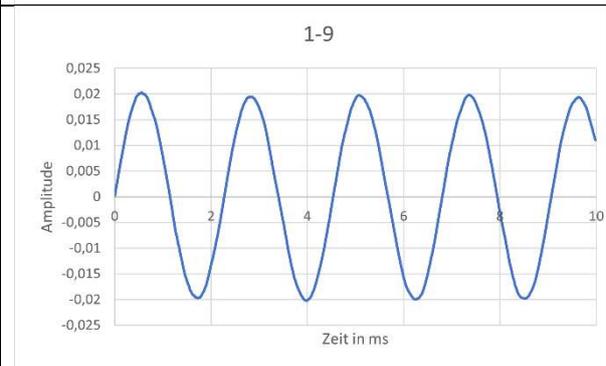
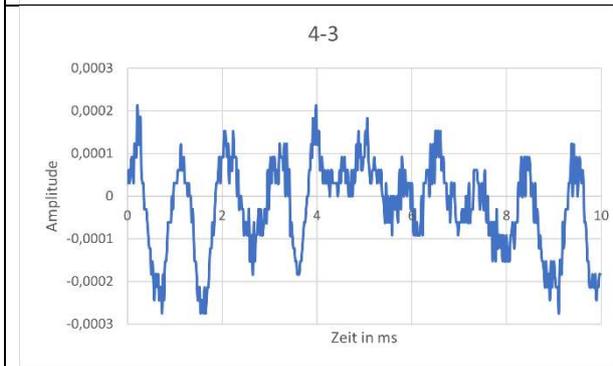
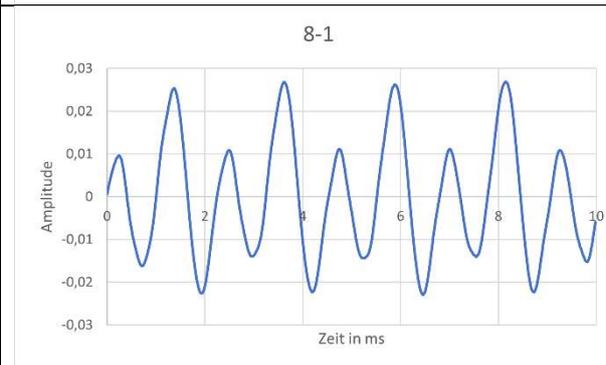
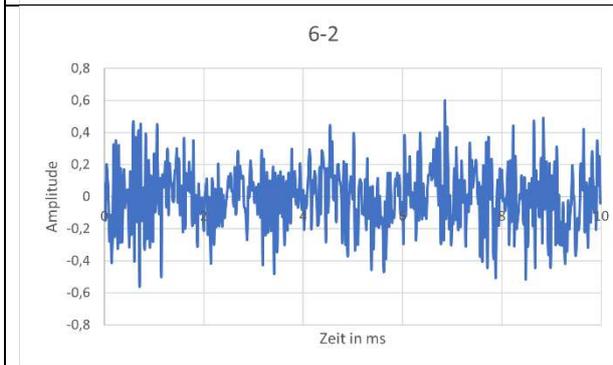
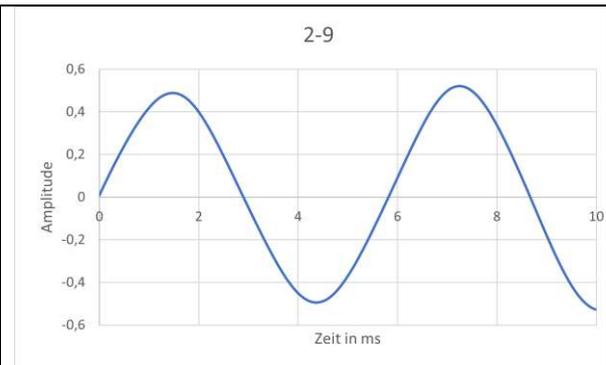
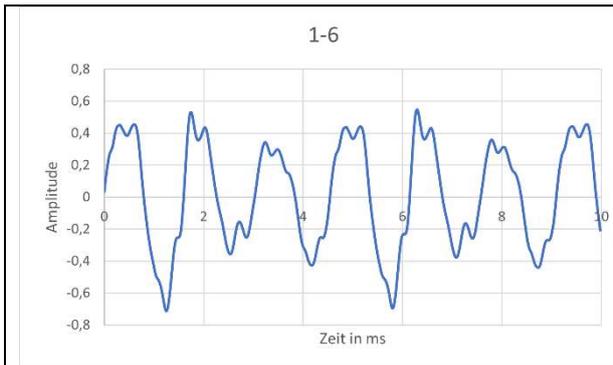
Akustik: Audio Oszillation

Dieses Rätsel unterscheidet sich von der finalen Version nur hinsichtlich der Lösung. Anstatt von mathematischen Operatoren und einer resultierenden Lösungszahl müssen in dieser Version die jeweiligen Oszillationsgraphen zu den zugehörigen Objekten sortiert werden. Auf den Oszillationsaufnahmen finden sich zweistellige Zahlenkombinationen im Format $x-y$, auf den Objekten findet sich eine dritte Zahl z . Zusammen ergibt das

wieder eine dreistellige Zahlenkombination x-y-z, welche für die Decodierung des Textes **Wärmelehre** verwendet wird. Die Audio-Aufnahmen, mit den Zahlenkombinationen sind auf den nachfolgenden Seiten zu sehen. Mit sieben Zahlenkombinationen können im Text Wärmelehre sieben Buchstaben eingekreist werden. Zusammen mit den vier Buchstaben aus dem vorherigen Rätsel und fünf weiteren Zahlenkombinationen, welche auf dem Text Wärmelehre zu finden sind ergibt sich damit das Hinweiswort „Zentripetalkraft“ für das Rätsel mit dem Zauberkreuz. Die benötigten Zahlenkombinationen aus den unterschiedlichen Rätseln für die Textdecodierung finden sich in Tabelle A.2.

Buchstabe	Zahlenkombination	zugehöriges Rätsel
Z	1-6-4	Akustik: Cello
E	1-8-1	Optik: rotes Licht
N	1-9-6	Akustik: Stimmgabel
T	2-5-6	Optik: Pappe Küken
R	2-6-3	Wärmelehre: Text
I	2-9-2	Akustik: Trommel
P	3-5-5	Optik: Pappe Ei
E	4-3-3	Akustik: Hintergrund
T	5-4-11	Wärmelehre: Text
A	5-9-2	Wärmelehre: Text
L	6-2-9	Akustik: Becken
K	7-3-4	Akustik: Papierknäuel
R	8-1-4	Akustik: Klavier
A	8-4-2	Wärmelehre: Text
F	9-1-7	Optik: weißes Licht
T	9-5-4	Wärmelehre: Text

Tabelle A.2.: Zahlenkombinationen, die aus unterschiedlichen Rätseln erhalten werden. Diese verweisen auf Buchstaben aus dem Text **Wärmelehre**.



3 – Hintergrund

Das Hintergrundgeräusch einer Stadt ist zwar sehr leise, aber dennoch immer vorhanden.



9 – Becken

Schlägt man mit dem Trommelstock auf das Becken, so entsteht ein lautes Geräusch.



4 – Klavier

Hier wurde der Grundton a angespielt. Die Klangfarbe bildet sich durch die mitschwingenden Obertöne. Im Vergleich zum Cello sind es deutlich weniger Obertöne.



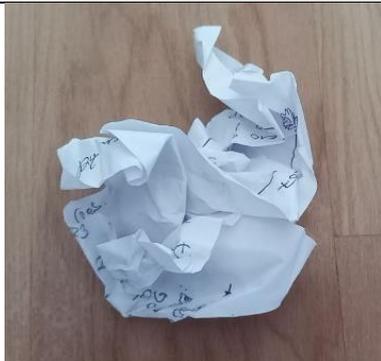
4 – Cello

Mit einem Bogen wurde über die a-Saite gestrichen. Die Schwingung der Grundfrequenz und die zugehörigen Obertonschwingungen bilden zusammen einen zauberhaften Klang.



6 – Stimmgabel

Dieses Hilfsmittel schwingt mit einer Frequenz von 440 Hz, dem sogenannten Kammerton.



4 – Papierknäuel

Wird Papier zerknüllt, gibt es ein Geräusch. Die Aufnahme sieht der des Beckens sehr ähnlich, ist insgesamt aber deutlich leiser.



2 – Trommel

Diese Trommel hat den tiefsten Ton, im Vergleich zu den anderen abgebildeten Instrumenten. Erstaunlicherweise schwingt sie mit genau einer Frequenz.

Wärmelehre: Textdecodierung

Da viele Schüler*innen die Begriffe *Temperatur* und *Wärme* nur schwer voneinander trennen können, wird hier ein Text von LEIFIphysik verwendet, um diesen Sachverhalt in einem Gedankenexperiment klarer zu machen [51]. Jede dreistellige Zahlenkombinationen steht für eine Zeile - Wort - Buchstabe im Text. Werden alle Buchstaben eingekreist und mit dem deutschen Leseverständnis gelesen, ergibt sich das Wort „Zentripetalkraft“ (vgl. Tabelle A.2). Dieses kann, wie in einer beiliegenden Hinweiskarte erklärt, für das Rätsel mit dem Symbol ω verwendet werden. Das ω findet sich auf dem Zauberkreuz wieder. Da die Testpersonen für dieses Rätsel sehr lange brauchten, aufgrund einer zu hohen Komplexität der Textcodierung und unklarer Verstrickung der drei verschiedenen Rätsel, wurde in der finalen Escape Box Version darauf verzichtet.

Wärme vs. Temperatur.

großes Becken

Reagenzglas

2-6-3
5-4-11
5-9-2
8-4-2
9-5-4

λ

- 1 In beiden Fällen steht eine Kerze mit einem begrenzten, aber gleichen
- 2 Energieinhalt zur Erwärmung des Behältnisses zur Verfügung, also die
- 3 Zunahme der inneren Energie (salopp sagt man im Alltag: Wärme) ist in
- 4 beiden Fällen gleich.
- 5 Nachdem die Kerzen ausgebrannt sind, wird die kleine Wassermenge
- 6 im Reagenzglas aber eine höhere Temperatur besitzen als das Wasser
- 7 im großen Becken.
- 8 Hieraus sieht man, dass ein Unterschied zwischen den beiden
- 9 Begriffen "Temperatur" und "Wärme" bestehen muss.

Hinweis: Das Rätsel mit dem Symbol ω kann mit dem Lösungswort gelöst werden.

In diesem Text scheint ein Hinweis versteckt zu sein. Um ihn zu verstehen müsst ihr zwei verschiedene Rätsel lösen. Markiert euch eure Erkenntnisse am besten im Text!

Abbildung A.10.: Mithilfe der Zahlenkombinationen am Rand und aus anderen Rätseln lässt sich ein Lösungswort aus dem Text decodieren. Das λ zeigt den Zusammenhang zwischen den für die Textdecodierung benötigten Rätseln.

A.8. Entwicklung der Rätsel-Prototypen

Nachfolgend wird ein Überblick über die Vorgängerversionen der unterschiedlichen Rätsel gegeben und erklärt, was daran optimiert wurde. Zudem wird erklärt, warum die Rätsel in diesem Prototypen-Stadium nicht in der Escape Box Physik eingesetzt werden konnten.

Optik: 3D Sehen

Als erstes Anaglyphenbild (vgl. Abb. A.11) wurde ein Versuch mit ausgeschnittenen Zahlen unternommen, welche an Kleiderbügel aufgehängt sind und so eine unterschiedliche räumliche Tiefe bieten. Das Originalbild ist in Abbildung A.12 zu sehen. Es fällt auf, dass je nach Farbe des Papiers die rot-cyan-Mischung im Anaglyphenbild anders ausfällt.



Abbildung A.11.: Anaglyphenbild mit sechs zweidimensionalen Zahlen aus Papier in unterschiedlicher räumlicher Tiefe.



Abbildung A.12.: Originalbild für die Entwicklung des Anaglyphenbildes. Das Bild entspricht der Aufnahme des rechten Auges.

Diese Vorgängerversion hat zwei Nachteile: Erstens ist der farbliche Kontrast zwischen den hellen Zahlen und der dahinter liegenden Wand ungeeignet. Zweitens ist der Effekt weniger beeindruckend, da die Zahlen selbst keine räumliche Tiefe haben. Aus diesem Grund wurde in der finalen Version ein Bild von Zahlen aus Knete gemacht, welche selbst dreidimensional sind.

Optik: Schattenphänomene

Die Idee des Rätsels basiert auf einer Aufgabenstellung im Buch *Universum Physik Baden-Württemberg 7/8* [38]. Für die Herstellung wurde das Küken und Ei aus Pappe ausgeschnitten und dann untersucht, wie der Schatten aussieht (vgl. Abb. A.13). Von diesem Aufbau wurden die exakten Maße, Abstände und der Schatten auf dem Schirm ausgemessen, damit das Rätsel finalisiert werden konnte. Dazu wird die Zeichnung auf dem Schirm, Taschenlampen in richtiger Höhe (Halterungen), reproduzierbare Pappe-Figuren sowie das Zahlenfeld benötigt.



Abbildung A.13.: Erste Version des Rätsels **Schattenphänomene**. Mithilfe der Pappe Figuren und zwei Lichtquellen wird der Kernschatten und der blaue Halbschatten erzeugt.

Optik: Farbaddition

Die erste Version des Farbmischers wurde auf einem Steckbrett realisiert, wobei die Pins der RGB LED über Pins eines Mikrocontrollers angesteuert wurden. Über Pulsweitenmodulation kann die Intensität der LEDs angepasst werden, sodass beim Drücken aller drei Taster physikalisch weißes Licht entsteht. Die Vorwiderstände sind in diesem Fall alle gleich groß. Die zugehörige Schaltung auf einem Steckbrett ist in Abbildung A.14 zu sehen. Nachteil dieser Umsetzung ist, dass ein Mikrocontroller nicht unbedingt an jeder Schule vorhanden ist und zudem eine eigene Stromversorgung benötigt. Der Einfachheit halber wurde in der finalen Version eine Batterie anstatt eines Mikrocontrollers verwendet und die unterschiedlichen Vorwiderstände experimentell ausprobiert.

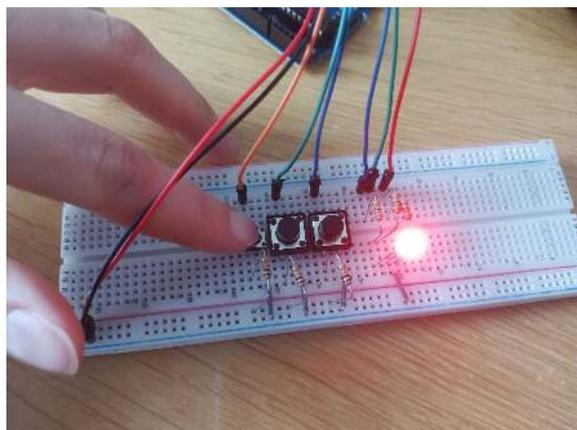


Abbildung A.14.: Erste Version des Rätsels **Farbaddition**. Die Taster und ein Mikrocontroller steuern die LEDs der RGB LED an.

Struktur der Materie: Atomaufbau



Abbildung A.15.: Erste Version des Rätsels **Atomaufbau**. In die Kästen wird vor dem Verschließen eine Kugel gelegt. Anhand von Gefühl und Gehör soll herausgefunden werden, um welche inneren Strukturen es sich handelt.

Die erste Version des **Atomaufbau**-Rätsels besteht aus quadratischen, 3D gedruckten Kästen, welche unterschiedliche Strukturen im Inneren haben (vgl. Abb. A.15). Dabei zielt das Rätsel hauptsächlich auf die Modellbildung ab, welche im Physikunterricht oft zur Erkenntnisgewinnung genutzt wird. Eine Kugel wird in die Kästen gelegt, bevor ein Deckel mit einer Zahl den Kasten verschließt. Aufgabe der Schüler*innen wäre gewesen, mithilfe von Gehör und Gespür der bewegten Kugel herauszufinden, um welche inneren Strukturen es sich bei den Kästen handelt. Die möglichen Strukturen sind ebenfalls in einer Tabelle zu sehen, sodass die Schüler*innen die Kästen entsprechend der Tabelle sortieren können. Daraus hätte sich eine Zahlenabfolge auf den Deckeln der Kästen ergeben, welche ein nächstes Schloss öffnen könnten. Dieses Rätsel hat sich im Selbstversuch als zu schwierig erwiesen. Selbst mit der bekannten Lösung ist es unglaublich schwer gewesen, zwischen den beiden in Abbildung A.15 gezeigten, doch sehr unterschiedlichen Strukturen zu unterscheiden, wenn im Kasten lediglich eine Kugel liegt. Zudem hat das helle PLA Filament den Nachteil, dass es im Licht durchscheint und die innere Struktur preisgibt. Aufgrund dieser Schwierigkeiten entstand eine zweite Version des Rätsels.

Die nachfolgende Version ähnelt der finalen Version des Rätsels **Atomaufbau** sehr. Abbildung A.16 zeigt die gleiche grundlegende Idee, mit hohlen Säulen, in welche Protonen und Elektronen als Magnete eingefügt werden können. Die Neutronen sind hierbei als Säule aus PLA konstruiert. Da der 3D Drucker in diese Säulen Stützmaterial eingefügt hat, sind sie beim Blick gegen das Licht als verschwommene Umrisse zu sehen, aber nicht eindeutig als Struktur zu bestimmen. Deswegen wurde in den nachfolgenden Versionen die Neutronen ebenfalls als Hohlsäule konstruiert, um diese vor dem Einsatz mit Papier zu füllen, welches sich als Licht absorbierend erwies.



Abbildung A.16.: Zweite Version des Rätsels **Atomaufbau**. In die Löcher werden Magnete als Protonen und Elektronen eingefügt. Die Neutronen sind mit PLA gefüllt.

Akustik: Audio Oszillationsaufnahmen

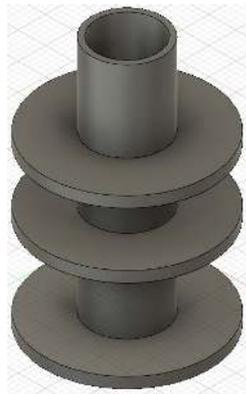
Für die Oszillationsaufnahmen wurde der Klang von unterschiedlichen Instrumenten und Geräusche von verschiedenen Gegenständen mit der App phyphox [43] aufgenommen. Danach wurde untersucht, welche Klänge und Geräusche sich gut voneinander unterscheiden, sodass die Schüler*innen mithilfe eines kleinen Textes erkennen können, welche Abbildung zu welcher Aufnahme gehört. Indikatoren für die Unterscheidung waren unterschiedliche Lautstärke, Tonhöhe oder Frequenz. Auf dieser Grundlage wurde die Version des **Akustikrätsels** in der Prototypen Escape Box fertiggestellt, und für die finale Escape Box leicht verändert.

Elektromagnetismus: Induktion

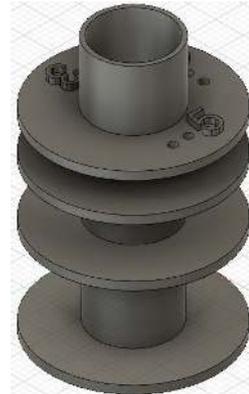
Beim Rätsel **Induktion** wurde viel mit unterschiedlich dickem Draht, Windungen und LEDs getestet. Als schlussendlich funktionsfähig erwies sich die Umsetzung mit sehr dünnem Kupferlackdraht, was jedoch weiter zu optimieren ist (vgl. Kapitel 5). Als ersten Test wurde eine Spulenhalterung, wie in Abbildung A.17(a) dargestellt, als Spulenträger konzipiert. Auf diesen wurde Kupferlackdraht mit einer Dicke von ungefähr 0,5 mm aufgewickelt und an eine Standard LED gelötet. Auch mit Amperemeter konnte bei dieser Umsetzung nur ein minimaler Induktionsstrom gemessen werden, wenn die Änderung des Magnetfeldes sehr schnell von statten ging. Zudem ergab sich das Problem, dass der Magnetstab keine Führung in der Spule hatte, und deswegen sehr genau gezielt werden musste.



(a) Erste Version.



(b) Zweite Version.



(c) Finale Version.

Abbildung A.17.: Die Entwicklung des Spulenträgers. Für die erste Version wurde ein dickerer Draht verwendet, weshalb der Bereich zum Wickeln der Spule noch sehr hoch ist. Die zweite Version ist geeignet um den Magnetstab darin schnell hin und her zu bewegen. In der finalen Version sind die LEDs integriert.

Die zweite Version des Spulenträgers hat den Vorteil, dass der Bereich in dem die Spule gewickelt wird, deutlich kleiner ist und sowohl darüber als auch darunter der Magnetstab geführt wird (vgl. Abb. A.17(b)). Dadurch kann der Magnetstab schnell aber dennoch präzise hin- und herbewegt werden. Mit 0,01 mm Kupferlackdraht und einer low-current LED konnte in dieser Umsetzung die LED zum Leuchten gebracht werden. Um das funktionierende Phänomen der Induktion zu einem Rätsel zu machen, wird in der finalen Version eine extra Ebene für den Anschluss der LED und mit extra Löchern für die Füße der LEDs hinzugefügt (vgl. Abb. A.17(c)).

Mechanik: Kinematik

Bei der Entwicklung des **Kinematikrätsels** wurde in jedem Schritt das Rätsel vereinfacht. Die grundlegende Idee blieb dabei unverändert, dass aus einem $v-t$ -Diagramm eine Strecke berechnet wird, welche anschließend nachgefahren werden muss. Wie in Abbildung A.18 gezeigt, beinhaltete die erste Version auch gleichmäßige Beschleunigung, sowohl mit positivem wie auch mit negativem Vorzeichen. Dabei ist eine negative Beschleunigung als Bremsvorgang zu interpretieren, welcher die Fahrtrichtung nicht verändert, während eine negative Geschwindigkeit als Rückwärtsfahren zu interpretieren ist. Auf diese zusätzliche Transferebene wurde aufgrund der bereits hohen Komplexität und Abstraktion des Rätsels verzichtet, um den Schüler*innen zu ermöglichen, das Rätsel in den geplanten 7 min zu lösen. Die finale Version der Rätsels beinhaltet deswegen nur noch gleichförmige Bewegung. Zudem wurde es ein wenig gekürzt (vgl. Abb. A.19).

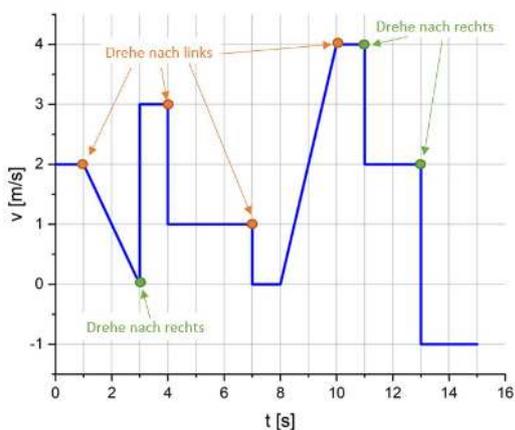


Abbildung A.18.: **Kinematikrätsel** in einer ersten, komplexeren Version, die auch gleichmäßig beschleunigte Bewegung beinhaltet.

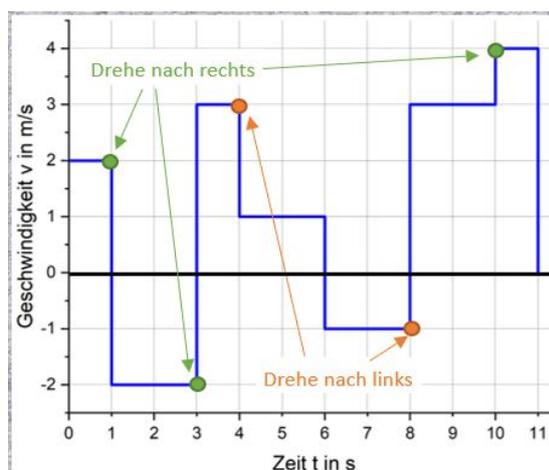


Abbildung A.19.: Finale Version des **Kinematikrätsels**. Es gibt nur Strecken mit gleichförmiger Bewegung.

Optik: Strahlenmodell



Abbildung A.20.: Prototyp für das Rätsel **Strahlenmodell**.

Der Prototyp für das Rätsel **Strahlenmodell** besteht aus einem Pappkarton, welcher auf der langen Seite vier und auf der kurzen Seite drei symmetrische Löcher hat. In der Mitte sind auf Klötzen Spiegelfragmente aufgeklebt, welche den einfallenden Strahl reflektieren. Die Klötze dienen dazu, dass der Spiegel auch ohne Kleber steht und flexibel positioniert werden kann. Hauptproblem des Prototypen ist, dass der Boden aus Pappe sehr wellig ist. Damit verkippen die Klötze leicht und der reflektierte Strahl ist nicht mehr parallel zum Boden, was den Prototypen unbrauchbar macht. Als bessere Alternative wurde deshalb der Holzkasten aus Sperrholz gefertigt, welcher wie in Kapitel 5 gezeigt, dennoch hinsichtlich der Bodenplatte optimiert werden muss.

Elektrizitätslehre: Widerstand

Die Schaltung des **Widerstandsrätsels** wurde zunächst in tinkercad simuliert [49] und anschließend auf einem Steckbrett, wie in Abbildung A.21 gezeigt, getestet. Nach erfolgreichem Test wurde die Schaltung auf eine Platine gelötet und zusätzliche Krokodilklemmen für die zu berechnenden Widerstände eingefügt. Dadurch ist es möglich, ohne die ganze Schaltung zu sehen, die wesentliche Reihen- und Parallelschaltung der Widerstände nachzuvollziehen. Ein Schalter sorgt dafür, dass die Batterie bei Nicht-Nutzung des Rätsels entkoppelt ist und sich nicht entlädt.

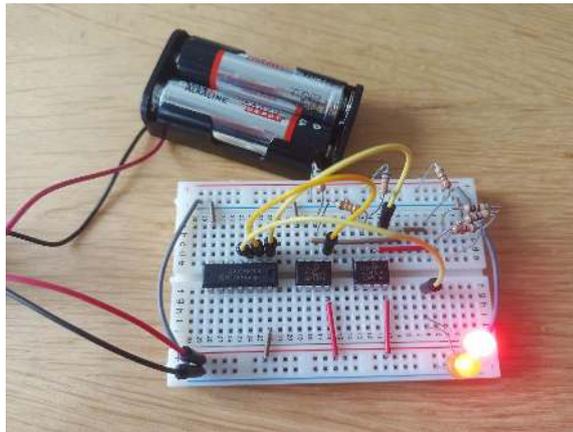


Abbildung A.21.: Erste Umsetzung der Schaltung für das **Widerstandsrätsel** auf dem Steckbrett. Die Fensterkomparatorschaltung besteht aus Operationsverstärkern und einem logischen UND-Gatter.

Dynamik: Flaschenzug

Ein Rätsel in der Escape Box sollte ursprünglich eine Aufgabe zum **Flaschenzug** sein. Bei diesem sollten an einem fertigen Modell links und rechts Gewichte hingehängt werden, sodass diese sich im Gleichgewicht befinden. Die Idee basiert auf Grundlage einer Aufgabenstellung aus LEIFIphysik (vgl. Abb. A.23 [52]). Die praktische Umsetzung in Abbildung A.22 konnte den an die Rätsel der Escape Box gestellten Anforderungen nicht standhalten. Ein Hauptnachteil sind die Abmessung des Rätsels. Um einen Potenzflaschenzug mit drei losen Rollen zu Bauen, wird ein Konstrukt benötigt, welches ungefähr so groß wie ein DinA4 Blatt ist. Da an jeder losen Rolle der Weg des Seils verdoppelt wird, ist das Spiel welches zwischen der oberen losen Rolle und der Umlenkrolle ist eigentlich zu klein. Wird die obere lose Rolle bis zum Anschlag hochgezogen, ist die untere lose Rolle um ein sehr kleines Stück nach oben gewandert. Des weiteren ist der hier verwendete Faden zu elastisch, was das Problem weiter verschlimmert. Ein nächstes Problem besteht darin, das Rätsel (wenn es funktionsfähig wäre) in die Escape Box einzubauen. Damit die Rollen und Fäden in der Escape Box aufgeräumt sind, benötigt der Flaschenzug einen rundum geschlossenen Kasten. Dieser sollte nach Möglichkeit immer senkrecht stehen,



Abbildung A.22.: Flaschenzug nachgebaut nach [52].

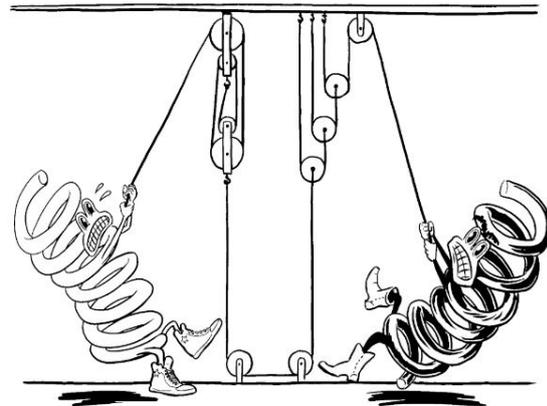


Abbildung A.23.: Flaschenzug theoretisch mit Potenzflaschenzug auf der rechten Seite, Quelle [52].

da sonst der Faden ggf. von den Rollen herunterrutscht. Zudem sind für die Herstellung des Kastens und das Anbringen der 3D gedruckten Rollen handwerkliche Fertigkeiten nötig. Als theoretisches Rätsel ließ sich das Thema Flaschenzug einfacher in die Escape Box integrieren, ist dann aber auch unspektakulärer. Aus diesen Gründen wurde in der finalen Version auf das Rätsel **Flaschenzug** verzichtet.