



Leibniz
Universität
Hannover



Leibniz Universität Hannover

Fakultät für Mathematik und Physik

Institut für Radioökologie und Strahlenschutz

Bachelorarbeit

**Entwicklung eines didaktischen Instruments zur Festigung von
Lehrinhalten zu Radioaktivität in der Sekundarstufe II**

vorgelegt von: Onno Maximilian Rüter

Matrikelnummer: 10014491

Abgabedatum: 13.07.2020

Erstprüfer: Prof. Dr. Clemens Walther

Zweitprüfer: Dr. Jan-Willem Vahlbruch

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Spielen im Physikunterricht.....	3
2.1.	Spielerisches Lernen	3
2.2.	Problemorientierung	6
2.3.	Kooperatives Lernen.....	8
3.	Physikalische Grundlagen	11
3.1.	Grundzüge der Kernphysik.....	11
3.1.1.	Nomenklatur von Atomkernen	11
3.1.2.	Die Nuklidkarte	11
3.2.	Der radioaktive Zerfall.....	12
3.2.1.	Der Alpha-Zerfall	12
3.2.2.	Der Beta-Zerfall.....	12
3.2.3.	Der Gamma-Zerfall	13
3.2.4.	Die Halbwertszeit	13
3.2.5.	Das Zerfallsgesetz.....	13
3.2.6.	Die vier natürlichen Zerfallsreihen.....	14
3.3.	Detektion radioaktiver Strahlung.....	14
3.3.1.	Strahlungswechselwirkung mit Materie	14
3.3.2.	Detektion ionisierender Strahlung	15
3.4.	Tröpfchenmodell und Kernspaltung	15
3.4.1.	Die Bindungsenergie des Atomkerns	15
3.4.2.	Die neutroneninduzierte Kernspaltung.....	16
3.5.	Der Uranium Fuel-Cycle	16
3.5.1.	Frontend.....	16
3.5.2.	Kernkraftwerk.....	17

3.5.3.	Backend	17
4.	Das Exit-Spiel zur Wiederholung kernphysikalischer Grundlagen.....	19
4.1.	Das Spielkonzept	19
4.2.	Das Spielmaterial	20
4.3.	Die Spielvorbereitung	21
4.4.	Der Spielablauf	21
4.5.	Die Handlung	23
4.6.	Vorstellung der einzelnen Rätsel	25
4.6.1.	Rätsel 1: Nomenklatur von Atomkernen	25
4.6.2.	Rätsel 2: Alpha-Strahlung	27
4.6.3.	Rätsel 3: Beta-Strahlung.....	29
4.6.4.	Rätsel 4: Gamma-Strahlung	30
4.6.5.	Rätsel 5: Nuklidkarte	33
4.6.6.	Rätsel 6: Detektion ionisierender Strahlung.....	34
4.6.7.	Rätsel 7: Wechselwirkung von Strahlung mit Materie.....	36
4.6.8.	Rätsel 8: Kernzerfall.....	37
4.6.9.	Rätsel 9: Zerfallsreihen.....	39
4.6.10.	Rätsel 10: Bindungsenergie des Atomkerns	40
4.6.11.	Rätsel 11: neutroneninduzierte Kernspaltung.....	42
4.6.12.	Rätsel 12: Uranium Fuel-Cycle Frontend	43
4.6.13.	Rätsel 13: Kernkraftwerk.....	45
4.6.14.	Rätsel 14: Uranium Fuel-Cycle Backend	47
4.6.15.	Rätsel 15: Rütthers' liebste Radionuklide.....	49
4.6.16.	Lösungsoptionen der Rätsel.....	52
5.	Handreichungen für die Lehrkraft	55
5.1.	Einbettung des Spiels in die Unterrichtseinheit	55
5.2.	Im vorangegangenen Unterricht behandelte Inhalte	55

5.3. Zeitlicher Umfang des Spiels.....	57
5.4. Erneute Verwendung des Spiels und Nachproduktion des Materials.....	58
6. Reflexion und Ausblick.....	59
Erklärung.....	60
Literaturverzeichnis.....	61
Abbildungsverzeichnis.....	63
Tabellenverzeichnis.....	64
Anhang.....	I

1. Einleitung

Wieso sollte im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe gespielt werden? Diese Frage habe nicht nur ich mir zu Beginn meiner Arbeit gestellt. Trotz diverser Vorurteile gegenüber spielerischem Lernen, hat schon Albert Einstein gesagt: „*Das Spiel ist die höchste Form der Forschung.*“ [15] Diese schon von Einstein erkannten, positiven Auswirkungen des Spielens auf den Lernprozess sollen in der nachfolgenden Arbeit ebenso beleuchtet werden wie die Anforderungen an die Lehrkräfte und Schüler*innen. Das eigentliche Ziel der nachfolgenden Arbeit ist es, ein didaktisches Instrument zu entwickeln, welches auf dem Konzept der Serie „Exit-Das Spiel“ des Kosmos Verlags beruht. Dieses Exit-Spiel und die darin enthaltenen physikalischen Inhalte und Rätsel stellen den Schwerpunkt dieser Arbeit dar. Wieso die Wahl auf die Methode des Exit-Spiels gefallen ist und weshalb es lohnenswert ist, regelmäßig im Physikunterricht zu spielen, wird in den einleitenden Kapiteln ausführlich dargelegt werden. Von großer Bedeutung für den Erfolg des Lernens durch Spielen ist vor allem eine angemessene Vorbereitung durch die Lehrer*innen. Aus diesem Grund wird ebenfalls Material für die unterrichtenden Lehrkräfte entwickelt, damit diese die Unterrichtseinheit zur Kernphysik und Radioaktivität entsprechend vorbereiten und den Unterricht auf das Exit-Spiel zielgerichtet anpassen können.

2. Spielen im Physikunterricht

Bevor der eigentliche Kernbestandteil dieser Arbeit, das Exit-Spiel, und die dafür benötigten Inhalte vorgestellt werden, soll dieses Kapitel verdeutlichen, warum das „Spielen“ auch im Physikunterricht eine sinnvolle Methode darstellt. Weiterhin soll vermittelt werden, wie beiläufig durch das Spielen die Problemorientierung und das kooperative Lernen im Physikunterricht unterstützt werden können.

2.1. Spielerisches Lernen

Der Grund und die Funktion des Spielens beschäftigt die Menschen schon seit vielen hundert Jahren. Aus diesem Grund existiert auch eine Vielzahl an Spieltheorien. Es begann noch vor Beginn des 20. Jahrhunderts mit Spencer, Lazarus sowie mit Groos, der im Spielen eine Vorübungsfunktion zur Bewältigung des Lebens im Erwachsenenalter sieht. Im 20. Jahrhundert wurden die Spieltheorien geprägt durch bekannte Persönlichkeiten wie Sigmund Freud, Erik Erikson und Jean Piaget, auf dessen kognitive Spieltheorie nachfolgend weiter eingegangen wird. Piaget bedient sich der Grundlagen von Groos, entwickelt sie allerdings dahingehend weiter, dass er im Spielen eine Übung der aktuellen Intelligenz sieht und keine Vorübung zur Bewältigung des Erwachsenenalters. Weiterhin sieht Piaget im kindlichen Spielen einen Weg zur Erkenntnis der Wirklichkeit, da Spiele immer in Auseinandersetzung mit der Umwelt stattfinden. Spiele dienen nach Piaget der Festigung von bereits erworbenem Wissen, und genau diese Eigenschaft wird sich mit dem Exit-Spiel zu Nutze gemacht. [Vgl. 20] Es besteht also die Möglichkeit, dass die Schüler*innen ihr Wissen durch das Spielen festigen und das sogar ohne es bewusst wahrzunehmen, da der intendierte Zweck des Spiels oftmals nicht deckungsgleich mit der Wahrnehmung der Schüler*innen ist. [Vgl. 16]

Johan Huizinga definiert in seinem Buch „Homo Ludens – der spielende Mensch“ das Spiel wie folgt: *„Spiel ist eine freiwillige Handlung oder Beschäftigung, die innerhalb gewisser festgesetzter Grenzen von Zeit und Raum nach freiwillig angenommenen, aber unbedingt bindenden Regeln verrichtet wird, ihr Ziel in sich selbst hat und begleitet wird von dem Gefühl der Spannung und Freude und einem Bewusstsein des Andersseins als das gewöhnliche Leben.“* [6] Diese Definition lässt eine breite Möglichkeit an Spielen zu, es lassen sich jedoch auch neun Merkmale erkennen, die auf beinahe alle dieser Spielarten zutreffen

Diese neun Merkmale wurden von Hilbert Meyer zusammengetragen und sind nachfolgend dargestellt:

- Spielen erfordert einen freien Raum, da es selbst frei von fremden Zwecken ist.
- Spielen ist in sich zielgerichtet.
- Spielen findet in einer Scheinwelt statt.
- Spielabläufe sind mehrdeutig und offen.
- Spielen schafft eine handelnde Auseinandersetzung mit den Spielenden oder dem Spielobjekt.
- Spielen erfordert die Anerkennung von Spielregeln.
- Im Spielen müssen gleiche Rechte und Gewinn- oder Beteiligungschancen für alle Mitspieler*innen bestehen.
- Spiele erfüllen sich in der Gegenwart.
- Spielen macht Spaß.

Diese neun Merkmale dienten mir in der Entwicklungsphase des Spiels als Ankerpunkte, die ich nach meinem Ermessen in die Planung jedes einzelnen Rätsels und des gesamten Spiels mit einbezogen habe. [Vgl. 7] Besonders kritisch ist das erste Merkmal zu sehen, da auch Hilbert Meyer sich selbst zugesteht, dass Spielen in der Lehre nicht zweckfrei sein kann, wie das nachfolgende Zitat belegt: *„Spielen im Unterricht ist nicht zweckfrei, sondern ein zielgerichteter Versuch zur Entwicklung der sozialen, kreativen, intellektuellen und ästhetischen Komponenten der Schüler.“* [7] Silke Mikelskis-Seifert und Helga Berendt untermauern diese These Meyers durch folgende Aussage: *„Die Grundidee des Spielens mit dem Ziel des Lernens ist es, die Motivation des Spielens zur Aneignung von Wissen einzusetzen.“* [6] Beide Zitate belegen, dass Spielen im Physikunterricht durchaus eine Daseinsberechtigung hat und höhere Ziele damit verfolgt werden können und auch sollten. Auf dieses Potential des Spiels für den Physikunterricht gehen Mikelskis-Seifert und Berendt ebenfalls ein. Hierbei beziehen sie sich auf Meyer, der festgestellt hat, dass Spielen das ganzheitliche Lernen, die Selbsttätigkeit der Schüler*innen, soziale Erfahrungen, die Klassengemeinschaft, sowie das Anwenden und Vertiefen des gelernten Wissens fördern kann. Weiterhin gelingt es, durch den Einsatz des Mediums Spiel vom lehrerzentrierten Unterricht abzuweichen und den Lehrer*innen mehr Zeit zur Verfügung zu stellen, damit diese von der diagnostischen Funktion des Spielens, bezogen auf den Lernerfolg, profitieren können. Auch der „Huckepackeffekt“, laut dem Lernen oftmals beiläu-

fig erfolgt, untermauert Mikelkis-Seiferts These, dass Spielen für den Lernprozess förderlich ist. [Vgl. 6] Aus den hier geschilderten Vorteilen wird ersichtlich, dass von dem Einsatz des Mediums Spiel im Unterricht nicht nur die Schüler*innen, sondern auch die Lehrer*innen profitieren. Daher möchte ich schon an dieser Stelle der Arbeit dafür plädieren, dass Lehrer*innen den Mut aufbringen, Spiele vermehrt im Unterricht einzusetzen und die Mehrarbeit zu Beginn in Kauf nehmen, damit schlussendlich alle vom Einsatz der Spiele profitieren können. Zu diesem besagten Mehraufwand gehört vor allem die ausführliche Planung der Unterrichtsstunde, in der gespielt werden soll. Meyer bezeichnet diese als „Spielstunden“. Um die Lehrer*innen in der Vorbereitung dieser Spielstunden zu unterstützen, hat Meyer eine Art Checkliste entwickelt, bestehend aus sieben Fragen, mit welcher die Lehrer*innen eine erfolgreiche Spielstunde planen können.

1. Warum will ich mit meinen Schüler*innen spielen?
2. Welche Interessen könnten die Schüler*innen am Spiel haben?
3. Welche Vorkenntnisse und Erfahrungen können die Schüler*innen einbringen?
4. Wie lauten die Spielregeln?
5. Wer ist Spielleiter?
6. Müssen die Spielgruppen vor Spielbeginn bestimmt werden?
7. Welche Spielmaterialien, Geräte oder Requisiten müssen besorgt werden?

[Vgl. 7] Für die Vorbereitung einer Spielstunde, in der das Exit-Spiel gespielt werden soll, sind die Fragen fünf und sechs von nachrangiger Bedeutung. Dafür sollten sich die Lehrer*innen besonders mit den Fragen zwei, drei und sieben auseinandersetzen. Aus genau diesem Grund beinhaltet diese Arbeit nicht nur ein Kapitel, welches sich mit den Vorkenntnissen der Schüler*innen genauer auseinandersetzt, sondern auch eines mit Anmerkungen für die unterrichtenden Lehrer*innen.

Abschließend lässt sich also festhalten, dass der Einsatz von Spielen im Physikunterricht durchaus seine Vorteile hat, wie an den Feststellungen von Meyer, Mikelskis-Seifert und Behrendt zu sehen ist. Weiterhin dient das Spiel, wie Piaget beschreibt, der Festigung von bereits erlerntem Wissen, welches die von mir erdachte Rolle des Exit-Spiels zur Wiederholung am Ende der Unterrichtseinheit als angemessen bestätigt. Beenden möchte ich dieses Kapitel gerne mit einem Zitat von Verena Auer, da es meines Erachtens die besondere Rolle des Spiels im Physikunterricht einfängt: *„Der Einsatz von verschiedenen Spielen im Physikunterricht ist eine Gelegenheit, für die Schüler eine anregende und interessante Lernumgebung zu schaffen, bei der sie die Physik mit Spaß verbinden können.“* [15]

2.2. Problemorientierung

„Die Schülerinnen und Schüler erleben physikalische Begriffe und Inhalte [...] in einem reinen Schulkontext, die verwendeten Aufgaben sind häufig alltagsfern, ohne einen motivierenden und kognitiv aktivierenden Kontext.“ [17]

Physikunterricht schafft eine synthetische Wirklichkeit, die die Schüler*innen nicht in ihrem Lernprozess unterstützt, sondern diese vor weitere Probleme stellt. Zur Begeisterung von Schüler*innen benötigt es authentische Problemstellungen, die in den Mittelpunkt des Unterrichtsgeschehens rücken. Diese Problemstellungen müssen in Kontexte eingebettet sein, die die Schüler*innen aktivieren und für die eigentliche Problemstellung und deren Lösung motivieren. [Vgl. 17] Josef Leisen hat hierzu den Ansatz der „aufgabengesteuerten Problemsituation“ geschaffen, der Schüler*innen fordert, aber auch befriedigt, sofern sie das Problem erfolgreich lösen konnten. Hierbei ist ihm eine Aufgabenvielfalt, die Aufgabenqualität, die Vernetzung der einzelnen Aufgaben untereinander und eine angemessene Einbettung in das bisherige Unterrichtsgeschehen besonders wichtig. All diese Aspekte habe ich versucht, in dem Exit-Spiel umzusetzen. Die Aufgabenvielfalt ist zum einen durch 15 unterschiedliche Logikrätsel, zum anderen durch 14 Multiple-Choice-Fragen gegeben. Die Qualität der Aufgaben ist ebenfalls gewährleistet, da diese eigenständig entwickelt und bearbeitet wurden und nicht aus fremden Werken ohne Analyse übernommen wurden. Eine Vernetzung der einzelnen Rätsel ergibt sich automatisch durch die Struktur des Exit-Spiels, da die Rätsel zum Teil aufeinander aufbauen und in einer speziellen Reihenfolge bearbeitet werden müssen, um das Spiel erfolgreich zu beenden. Zu guter Letzt ist die Einbettung in das Unterrichtsgeschehen gegeben, da das Spiel als Abschluss der gesamten Unterrichtseinheit entwickelt worden ist. Eine besondere Rolle kommt laut Leisen dem kognitiven Konflikt zu, da dieser maßgeblich dafür verantwortlich ist, dass aus einem physikalischen Phänomen ein Problem wird. In dem von mir entwickelten Spiel werden die Spielenden in den Rätseln und Fragen immer wieder vor kognitive Konflikte gestellt, die entweder durch Widersprüche, Inkongruenzen, Ungewissheit, Irrelevanz, Mehrdeutigkeit, Zweifel oder Überraschungen hervorgerufen werden. Ebenfalls sollten den Schüler*innen laut Liesen abgestufte Lernhilfen zur Verfügung stehen, da diese nachweislich einen Vorbildcharakter für Schüler*innen haben. [Vgl. 6] Diese wurden in Form der Lösungs-Karten im Spiel umgesetzt. Neben der Idee von Josef Leisen existiert der Ansatz der „Modifizierten Anchored Instruction“, kurz „MAI“. In diesem steht ein Ankermedium im Mittelpunkt des Lernprozesses, in dem hier betrachteten Fall wäre dies das Exit-Spiel. Dieses Ankermedium hat zur Aufgabe, die

Lernumgebung zu schaffen und in die Geschichte und die komplexe Problemstellung einzuführen. Die Kernpunkte des Ansatzes sind neben besagtem Ankermedium und der eigentlichen Handlung (Story), die die authentischen Problemstellungen enthalten, eine Einbettung von Daten in die Handlung, eine vertikale (jahrgangübergreifende) und horizontale (fächerübergreifende) Verknüpfung der Inhalte, eine regelbare Problemkomplexität, eine aktive und selbsttätige Problemlösung durch die Schüler*innen und sachgleiche Aufgaben. Anhand dieser Schilderungen wird erneut deutlich, dass sich auch der beschriebene Ansatz zur Gestaltung des Unterrichts mittels authentischen Problemstellungen perfekt mit der Methode des Exit-Spiels kombinieren lässt, da ein Großteil der gestellten Anforderungen der MAI auf besagtes Spiel, auf Grund der Charakteristika von Exit-Spielen, sowieso zutreffen. [Vgl. 17]

Schüler*innen benötigen zum erfolgreichen Lösen dieser authentischen Problemstellungen, mit welchen sie zum Abschluss der Unterrichtseinheit in meinem Spiel konfrontiert werden, das nötige Handwerkszeug. Die Schüler*innen müssen also im Laufe ihrer Schulzeit eine gewisse Problemlösekompetenz entwickelt haben. In den Bildungsstandards findet sich hierzu folgende Definition: „*Schülerinnen und Schüler wenden ihre mathematischen Kenntnisse, Fertigkeiten und Fähigkeiten beim Lösen von problematischen Aufgaben an, entwickeln und nutzen eigenständige Lösungsstrategien, erkennen, nutzen und übertragen Zusammenhänge auf ähnliche Sachverhalte (Transferleistungen), verstehen komplexe Problemstellungen aus der Realität, wo der Lösungsweg nicht offensichtlich ist, finden ausgehend von gegebenen Informationen, trotz Barrieren eigenständige Wege zur Lösung und setzen sich aktiv und produktiv mit den Problemen auseinander und lösen diese mit ihren eigenen Möglichkeiten.*“ [21] Exit-Spiele besitzen, bezogen auf diese Definition der Kultusministerkonferenz und der Schilderungen zur Anwendung von authentischen Problemen im Unterricht nach Leisen, ein großes Potential zur Förderung des Lernprozesses der Schüler*innen. Dies hat auch Ulrike Kipman bereits entdeckt und sich daher ausführlicher mit Spielen zur Förderung von Problemlösekompetenz auseinandergesetzt. Hierzu hat sie eine Gliederung in vier Kompetenzen entwickelt, mit denen Spiele auf ihre Förderung der Problemlösekompetenzen hin untersucht werden können. Die Bewertung wird auf einer Skala von eins bis zehn vorgenommen, wobei eins das schlechteste und zehn das beste Ergebnis darstellt. Die erste Kompetenz (K1) bezieht sich auf die eigenständige Entwicklung und Nutzung von Lösungsstrategien. In der zweiten Kompetenz (K2) wird das Erkennen von Zusammenhängen und die nötigen Transferleistungen beurteilt. Kompetenz Nummer drei (K3) beschäftigt sich mit der Tatsache, dass

trotz Barrieren aus den gegebenen Informationen eine eigenständige Lösung gefunden werden soll. Die vierte und letzte Kompetenz (K4) umfasst die aktive und produktive Auseinandersetzung mit Problemstellungen und deren Lösung durch eigene Möglichkeiten. Kipman hat in ihrem Buch exemplarisch ein Exit-Spiel des Kosmos Verlags, auf dessen Grundlage auch mein Spiel entwickelt wurde, in allen Kompetenzbereichen mit der Höchstpunktzahl zehn bewertet. Dies verdeutlicht erneut, warum Exit-Spiele eine ausgezeichnete Möglichkeit darstellen, die Entwicklung der Problemlösekompetenz bei Schüler*innen zu unterstützen. [Vgl. 21]

2.3. Kooperatives Lernen

Kooperatives Lernen verbindet viele, und auch ich selbst, mit der klassischen Kleingruppenarbeit. Rita Wodzinski vertritt allerdings die Meinung, dass kooperatives Lernen mehr ist, als bloße Kleingruppenarbeit. „*Kooperatives Lernen meint [...], im Austausch mit allen Gruppenmitgliedern miteinander und voneinander zu lernen. Dabei wird über das fachliche Lernen hinaus dem sozialen Lernen in der Gruppe ein besonderer Stellenwert beigemessen.*“ [18] Aus dieser Definition wird die Kernidee meines Spiels ersichtlich. Den Schüler*innen wird in dem Exit-Spiel durch das Wiederholen der Inhalte in kleineren Lerngruppen die Möglichkeit gegeben, sich gegenseitig in ihren individuellen Lernprozessen zu unterstützen. So können sie neben den fachlichen Inhalten auch soziale Strukturen und Verhaltensweisen, wie zum Beispiel die Konsensfindung innerhalb der Gruppe, direkt erleben und erlernen. Als wichtigen Unterschied zur Kleingruppenarbeit stellt Wodzinski die Bearbeitungszeit dar. Damit kooperatives Lernen gelingen kann, müssen die Schüler*innen für einen längeren Zeitraum miteinander arbeiten, da sich der gewünschte Erfolg nicht instantan einstellt, sondern die Schüler*innen erst eine Findungsphase innerhalb der Gruppe durchlaufen müssen, um kooperative Kompetenzen zu entwickeln. [Vgl. 18] Durch die Struktur des von mir entwickelten Exit-Spiels ist es möglich, die Arbeit auf bis zu drei Doppelstunden mit je 90 Minuten Bearbeitungszeit zu strecken. Hierdurch wird der zeitliche Rahmen geschaffen, um ein gelingendes kooperatives Lernen mit dem Exit-Spiel zu gewährleisten. Von den Lehrer*innen wird im kooperativen Lernprozess erwartet, aus ihrer gewohnten Rolle heraus in die der unterstützenden Lernbegleiter*innen zu schlüpfen, um den Schüler*innen so zu ermöglichen, ihren Lernprozess aktiv mitzugestalten. Die Hauptaufgabe der Lehrer*innen in kooperativen Unterrichtssituationen liegt in der ausführlichen Vor- und Nachbereitung der einzelnen Unterrichtsstunden. Bezogen auf dieses Exit-Spiel bedeutet dies, dass die Lehrer*innen für die

Produktion des Materials und die Einarbeitung in die Handlung sowie für die geschickte Phasierung durch Spielunterbrechungen zuständig sind, sich aber während der eigentlichen Arbeit mit dem Spiel in die Rolle der stillen Beobachter*innen versetzen. [Vgl. 6, 19] Auf Seiten der Schüler*innen ist festzustellen, dass sie durch die andauernde Formulierung von gedachtem Wissen mit ihren eigenen Verständnisgrenzen konfrontiert werden und sich durch die anschließende, gegenseitige Bearbeitung in der Gruppe ein positiver Lerneffekt empirisch nachweisen lässt. Dieser kooperative Prozess, in dem die Schüler*innen sich gegenseitig helfen, ihre Vorstellungslücken zu schließen, ist laut Rita Wodzinski ein wesentlicher Aspekt des Lernens von Physik. [Vgl. 18] Aus genau diesen Gründen eignet sich ein Exit-Spiel hervorragend, um bisher unbekannte Verständnisschwierigkeiten der Schüler*innen aufzudecken und diese gleichzeitig von den Gruppenmitgliedern beseitigen zu lassen. Daher habe ich das Spiel auch zur Wiederholung des Unterrichtsstoffs vor dem Abschluss der Unterrichtseinheit geplant, damit eben diese Schwierigkeiten noch vor einer Prüfung ausfindig gemacht werden können und direkt durch die Schüler*innen erschöpfend aufgeklärt werden können. Ebenfalls wird der oftmals großen Heterogenität der Schüler*innen, vor allem in Bereichen des bisherigen Lernerfolgs, durch kooperative Ansätze positiv begegnet. Durch die gemeinsame Bearbeitung von Aufgaben mit unterschiedlichen Anforderungsniveaus wird es jedem ermöglicht, seine Fähigkeiten und Fertigkeiten einzubringen, und zum Erfolg des Spiels beizutragen. [Vgl. 6] Abschließend lässt sich also sagen, dass das Exit-Spiel ein geeignetes Medium für den kooperativen Lernansatz darstellt und die Kombination aus beidem die Schüler*innen in ihrem Lernprozess nachhaltig unterstützt.

3. Physikalische Grundlagen

In diesem Kapitel möchte ich wesentliche Eckpunkte der physikalischen Lerninhalte darlegen, die durch das von mir entwickelte Exit-Spiel von den Schüler*innen wiederholt und gefestigt werden sollen. Ziel dieses Kapitels ist es nicht, den gesamten Unterrichtsstoff der vorangegangenen Unterrichtseinheit zur Kernphysik zusammenzufassen, sondern lediglich eine Quintessenz an Inhalten zu präsentieren, die für die Arbeit mit diesem Spiel unabdingbar ist. Hierzu zählen vor allem physikalische Größen, deren Einheiten und Formeln. Vielmehr sollte dieses Kapitel nicht als eine Zusammenfassung allen Faktenwissens für die Schülerhand, sondern als ergänzende Handlungsanweisung für die unterrichtenden Lehrkräfte gesehen werden, in welcher die Konzeptziele [Vgl. 5] der Unterrichtseinheit klar formuliert und niedergeschrieben worden sind. In Kapitel 5.2. werden die nachfolgenden Unterrichtsziele in einem Stichwortverzeichnis zusammengefasst.

3.1. Grundzüge der Kernphysik

3.1.1. Nomenklatur von Atomkernen

Um ein gelingendes Verständnis und Erlernen der nachfolgenden Inhalte zu gewährleisten, ist es unabdingbar, dass die Schüler*innen mit bestimmten Fachbegriffen umgehen können. So sollte die Kernladungs-, Neutronen- und Massenzahl den Schüler*innen genauso ein Begriff sein, wie Proton, Elektron, Neutron und Nukleon. Die Schüler*innen sind ebenfalls in der Lage, Radionuklide in der bekannten Schreibweise inklusive der Massen- und Kernladungszahl darzustellen und diese Darstellung zu interpretieren. Aus folgender Schreibweise „ ${}_{92}^{238}\text{U}$ “ muss für die Schüler*innen erkennbar sein, dass besagtes Nuklid 92 Protonen, 146 Neutronen und insgesamt 238 Nukleonen besitzt. All diese Informationen sind in den gängigen Schulbüchern zu finden, sodass die Lehrer*innen keine zusätzliche Literatur für ihre Unterrichtsplanung berücksichtigen müssen. Allerdings kann der Unterrichtsstoff durch spezielle Informationen aus dem, meines Erachtens sehr umfangreichen, „Metzler Physik“ ergänzt werden. [Vgl. 14]

3.1.2. Die Nuklidkarte

Die Arbeit mit der Karlsruher Nuklidkarte ist für die Kernphysik von gleicher existentieller Bedeutung, wie die Arbeit mit dem Periodensystem der Elemente in der Chemie. Die Schüler*innen müssen im Umgang mit dieser schnell und sicher sein. Hierzu zählen die Fertigkeiten, bestimmte Nuklide in der Karte zu finden, ihre Zerfallsart und Halbwertszeit sowie ihr Zerfallsprodukt ausfindig zu machen. Auch der Umgang mit den

Fachbegriffen Isobar, Isotop, Isoton, Isodiapher, Isomer und primordiales Nuklid stellt für die Schüler*innen keine Hürde dar. Sonderfälle wie das Kalium-40, die mehr als nur eine Art von Zerfällen ausführen, sollten ebenfalls behandelt worden sein, sodass die Schüler*innen in der Lage sind herauszufinden, welche dieser Zerfallsarten prozentual häufiger auftritt. Diese Informationen lassen sich nur bedingt in den gängigen Schulbüchern in Erfahrung bringen, sodass es für die Lehrkräfte durchaus Sinn ergibt, sich vor dem Unterricht genauer mit dem Begleitheft der Karlsruher Nuklidkarte auseinanderzusetzen. [Vgl. 13]

3.2. Der radioaktive Zerfall

3.2.1. Der Alpha-Zerfall

Schüler*innen sollten zu Beginn des Spiels in der Lage sein, Alpha-Strahlung als Heliumkerne zu identifizieren und deren typische Energie und Reichweite in Luft zu benennen. Auch das Absorptionsverhalten in unterschiedlichen Materialien sowie die daraus resultierende Abschirmwirkung bereits durch Papier ist den Schüler*innen bekannt. Als Grund für die geringe Reichweite der Alpha-Strahlung können sie den Bragg-Peak identifizieren und diesen in geeigneten Diagrammen erkennen. Ein Großteil dieser Inhalte sollte in den gängigen Schulbüchern enthalten sein, jedoch müssen die Lehrer*innen die Informationen über den Bragg-Peak dem folgenden Buch entnehmen. [Vgl. 12]

3.2.2. Der Beta-Zerfall

Die Schüler*innen sind in der Lage, die drei möglichen Beta-Zerfälle voneinander zu unterscheiden und die Zerfallsgleichung für den Electron-Capture sowie den Beta-Minus und Beta-Plus Zerfall zu formulieren. Eine besondere Rolle kommt bei diesem Zerfall den Neutrinos zu, mit denen die Schüler*innen die Entstehung des kontinuierlichen Energiespektrums im Vergleich zu einem diskreten Energiespektrum beim Alpha-Zerfall erklären können. Typische Energien, Reichweiten und die Abschirmung durch wenige Millimeter Aluminium und Plexiglas sind den Schüler*innen ebenfalls bekannt. Der Beta-Plus sowie der Electron-Capture Zerfall gehören nicht zum klassischen Unterrichtsstoff der gymnasialen Oberstufe. Damit diese Inhalte dennoch im Unterricht behandelt werden können, ist von Seiten der Lehrkräfte eine Recherche in beispielhafter Fachliteratur nötig. [Vgl. 11, 12]

3.2.3. Der Gamma-Zerfall

Zu aller erst sollen die Schüler*innen in der Lage sein, festzustellen, dass es sich bei der Gamma-Strahlung um keinen Kernzerfall im herkömmlichen Sinne handelt. Sie können argumentativ begründen, dass sich beim Gamma-Zerfall weder die Kernladungs- noch die Massenzahl ändert, sondern dass der Kern lediglich zwischen zwei internen Energieniveaus wechselt. Den Schüler*innen sind ebenfalls typische Eigenschaften wie die Energie, Reichweite und Abschirmungsmöglichkeiten bekannt. Für die Behandlung dieser Inhalte im Unterricht bedarf es keiner gesonderten Sichtung von Fachliteratur durch die Lehrer*innen.

3.2.4. Die Halbwertszeit

Hinter dem Begriff der Halbwertszeit verbirgt sich meiner Meinung nach das wichtigste physikalische Konstrukt, dass für das Gelingen des Lernprozesses über Kernphysik von existentieller Bedeutung ist. Die exponentielle Natur des radioaktiven Zerfalls wird durch diese Größe untermauert und für Schüler*innen vorstellbar. Daher sollte der Erarbeitung dieser physikalischen Größe eine besondere Rolle in dieser Unterrichtseinheit spielen, um vor allem die Entstehung von gewissen Schülervorstellungen zu unterbinden. Die Schüler*innen sind also nach dem Abschluss der Unterrichtseinheit in der Lage, aus der Halbwertszeit Schlüsse bezüglich der Lebensdauer bestimmter Nuklide zu ziehen, sowie den Zusammenhang zwischen Halbwertszeit und Zerfallskonstanten zu benennen und diese über Formel (1) ineinander umzurechnen.

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{\lambda} \quad (1)$$

Die Standardunterrichtsmaterialien sind zum Erreichen dieser Lernziele ebenfalls vollkommen ausreichend.

3.2.5. Das Zerfallsgesetz

Direkt an die Halbwertszeit schließt sich das Zerfallsgesetz an. Die Schüler*innen sollten in der Lage sein, dieses mathematische Konstrukt geschickt für die Beschreibung des radioaktiven Zerfalls zu nutzen. Auch exponentiell abnehmende Graphen sind den Schüler*innen bekannt und es kann aus diesen die Halbwertszeit bestimmt werden. Die eigentliche Mathematisierung der Formel sollte den Schüler*innen in den beiden nachfolgenden Formen bekannt sein (Formeln 2 & 3). Berechnungen sowohl mit einem Taschenrechner

als auch einfache Kopfrechenaufgaben sowie das Umformen der exponentiellen Gleichungen sollte für die Schüler*innen kein Hindernis darstellen. Hierzu zählt ebenfalls der Basiswechsel der Exponentialfunktion.

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{\frac{-t}{t_1}} \quad (2)$$

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (3)$$

3.2.6. Die vier natürlichen Zerfallsreihen

Die Schüler*innen können die drei natürlichen Zerfallsreihen benennen und deren Verlauf in der Nuklidkarte ausfindig machen. Auch die vierte natürliche Zerfallsreihe, die in der Natur nicht mehr existiert, ist den Schüler*innen bekannt. Zur eindeutigen Identifikation spezieller Nuklide nutzen die Schüler*innen das 4n-Schema. Mit diesem ist eine eindeutige Zuordnung eines Nuklides zu einer speziellen Zerfallsreihe möglich. Das Verfahren wird nachfolgend am Beispiel des Radium-226 verdeutlicht.

Test für die Thorium-Reihe: $A = 226 = 4n \Leftrightarrow n = 56,5$

Test für die Neptunium-Reihe: $A = 226 = 4n + 1 \Leftrightarrow 225 = 4n \Leftrightarrow n = 56,25$

Test für die Uran-Radium-Reihe: $A = 226 = 4n + 2 \Leftrightarrow 224 = 4n \Leftrightarrow n = 56$

Test für die Uran-Actinium-Reihe: $A = 226 = 4n + 3 \Leftrightarrow 223 = 4n \Leftrightarrow n = 55,75$

Nur für die Uran-Radium Reihe ergibt sich eine ganze Zahl. Diese Massenzahl ist also durch eine bestimmte Anzahl Alpha-Zerfälle von der Mutter Uran-238 erreichbar. Demnach kann das Nuklid Radium-226 eindeutig der Uran-Radium Zerfallsreihe zugeordnet werden. [Vgl. 12]

3.3. Detektion radioaktiver Strahlung

3.3.1. Strahlungswechselwirkung mit Materie

Die Schüler*innen sind in der Lage, ihr bereits vorhandenes Wissen zum Photo- und Compton-Effekt sowie zur Röntgenstrahlung auf neue Anwendungsbeispiele zu transferieren und anzuwenden. Im Bereich der Wechselwirkung von Gamma-Strahlung mit Materie sind die Schüler*innen ebenfalls in der Lage, den Prozess der Paarbildung zu erklären und gehen dabei auf die besondere Rolle der Energie von mindestens 1,022 MeV ein.

Die Schüler*innen sind ebenfalls in der Lage, jedem Effekt einen speziellen Energiebereich der Gamma-Photonen zuzuordnen, in welchem dieser vorwiegend auftritt. Der Effekt der Bremsstrahlung kann von den Schüler*innen auf die Wechselwirkung von Beta-Strahlung mit Materie übertragen werden und gleichzeitig genutzt werden, um auf die Gefahr einer sekundären Strahlungsquelle durch Abschirmungen hinzuweisen. Für die Paarbildung und die energetische Einordnung der Effekte sollte folgende Literatur verwendet werden. [Vgl. 12]

3.3.2. Detektion ionisierender Strahlung

Als wesentlicher Bestandteil der Unterrichtseinheit zur Kernphysik zählt die Detektion ionisierender Strahlung. Die Schüler*innen sollten zum Ende der Unterrichtseinheit den Aufbau und die Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs und eines Festkörpertelektors erklären können. Der Begriff Totzeit kann von den Schüler*innen erklärt werden und es können Beispiele für typische Totzeiten bei Geiger-Müller-Zählrohren gegeben werden. Auch der Begriff der Arbeitsspannung von Geiger-Müller-Zählrohren und die Größenordnung besagter Spannung ist den Schüler*innen bekannt. Bei diesen Lerninhalten handelt es sich ebenfalls um standard Schulbuchwissen, sodass keine weiterführende Literatur für die Unterrichtsvorbereitung benötigt wird.

3.4. Tröpfchenmodell und Kernspaltung

3.4.1. Die Bindungsenergie des Atomkerns

Die Bindungsenergie des Atomkerns wird in den meisten Schulbüchern nur sehr bedingt behandelt. Eine sehr ausführliche Darstellung findet sich im „Metzler Physik“, dieser stellt aber auch die Ausnahme dar. [Vgl. 14] Dennoch ist den meisten Schüler*innen nur Formel (4) bekannt. Zum erfolgreichen Abschluss des von mir entwickelten Spiels ist es jedoch unbedingt notwendig, dass die nachfolgend dargestellte „Weizsäcker Massenformel“ ausführlich im Unterricht behandelt worden ist. Auch die wesentlichen Bestandteile des hierfür grundlegenden „Tröpfchenmodells“ sollten den Schüler*innen bekannt sein.

$$E_B = \Delta m \cdot c^2 \quad (4)$$

$$E_B = a_V \cdot A - a_O \cdot A^{\frac{2}{3}} - a_C \cdot \frac{Z \cdot (Z - 1)}{A^{\frac{1}{3}}} - a_S \cdot \frac{(A - 2Z)^2}{4A} + \delta \quad (5)$$

Die Komplexität dieser Formel kann auf Schüler*innen schnell überfordernd wirken. Dies lässt sich jedoch durch einen doppelt elementarisierten Ansatz umgehen. Hierzu

wird die Formel zum einen methodisch in die jeweiligen Einzelterme (Volumen-, Oberflächen-, Coulomb-, Symmetrie- und Paarungsterm) zerlegt und zusätzlich werden diese methodischen Schritte durch spezielle Grafiken unterstützt. Ebenfalls sollten die beiden Konzepte des Massendefektes (Formel 6) und des Massenüberschusses (Formel 7) im Unterricht eingeführt worden sein.

$$\Delta m = Z \cdot m_H + (A - Z) \cdot m_N - m(Z, A) \quad (6)$$

$$\Delta = m(Z, A) - A \cdot u \quad (7)$$

Die notwendigen Inhalte sind in folgender Literatur übersichtlich dargestellt. [Vgl. 8, 9, 11]

3.4.2. Die neutroneninduzierte Kernspaltung

Die Schüler*innen sind in der Lage, den zeitlichen Ablauf der neutroneninduzierten Kernspaltung zu beschreiben und mit Hilfe der Bindungsenergie des Atomkerns zu begründen, warum bei der Kernspaltung Energie freigesetzt wird. Weiterhin ziehen die Schüler*innen den Paarungsterm der „Weizsäcker Massenformel“ heran, um zu erklären, wieso sich Kerne mit ungeraden Massenzahlen durch thermische Neutronen spalten lassen und Kerne mit geraden Massenzahlen nicht spaltbar sind. Ebenfalls wurde in die Konzepte der Neutronenmoderation und Eifangquerschnitte eingeführt. Die Schüler*innen sollten zusätzlich die Größenordnung der freiwerdenden Energiemenge einer Uran-235 Kernspaltung benennen können. Ein Großteil dieser Informationen geht über die eigentlichen Unterrichtsinhalte des niedersächsischen Kerncurriculums hinaus, daher empfehle ich den Lehrkräften die Recherche in bekannter Fachliteratur. [Vgl. 8, 9,11]

3.5. Der Uranium Fuel-Cycle

3.5.1. Frontend

Im Physikunterricht wird zwar auf Kernkraftwerke als zivile Anwendung der Kernenergie und die Entsorgungsprobleme eingegangen, allerdings wird der Anfang des Brennstoffkreislaufs vollkommen außer Acht gelassen. Das von mir entwickelte Spiel findet allerdings in einer alten Uranmine der SDAG Wismut statt, sodass das sogenannte „Frontend“ des Brennstoffkreislaufs alleine zur Einbettung des Spiels in den Unterrichtskontext notwendig erscheint. Die Schüler*innen sollten zum Spielbeginn eine grobe historische Einbettung des Uranbergbaus im Erzgebirge geben können. Wenige Einzelheiten zu den weltweiten Uranreserven und der wichtigsten Fachbegriffe Yellow Cake und Pechblende

sollten für die erfolgreiche Teilnahme am Spiel ausreichen. Hierzu empfiehlt sich für die Lehrkräfte ebenfalls eine weiterführende Literaturrecherche. [Vgl. 8, 9, 10]

3.5.2. Kernkraftwerk

Der Aufbau und die Funktionsweise westlicher Druckwasserreaktoren gehört schon seit langem zum Standard im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe. Daher sind die Inhalte den Lehrer*innen durchaus geläufig und es wird auch keine weiterführende Literatur benötigt. In meinem Spiel steigen die Schüler*innen jedoch etwas tiefer in die Materie ein. Neben dem Druckwasserreaktor und dessen Spezifikationen sollte auch das Grundprinzip eines Siedewasserreaktors den Schüler*innen bekannt sein. Weiterhin muss von den Lehrkräften besonders Wert auf das Multibarrierenprinzip und die Rolle der spaltbaren Plutoniumisotope zur Energiegewinnung gelegt werden. All dies lässt sich in der Fachliteratur finden, auf die ich hier verweise. [Vgl. 8, 9]

3.5.3. Backend

Klassischerweise wird im Physikunterricht die Problematik der Entsorgung hochaktiver Abfälle aus Kernkraftwerken genutzt, um prozessbezogene Kompetenzen, wie die Kommunikations- und Diskursfähigkeit zu trainieren. Die inhaltsbezogenen Kompetenzen beschränken sich oftmals nur auf tiefeingeologische Endlager. Dieser Einschränkung möchte ich durch das Spiel entgegenwirken. Daher sollte von den Lehrer*innen auch auf die bereits bestehende Wiederaufbereitung in Sellafield und La Hague, sowie die neuen Technologien der Partitionierung und Transmutation eingegangen werden. Neben diesen neuen Unterrichtsinhalten sollten auch die Spezifika der deutschen Endlagerprojekte bekannt sein. Dieses Fachwissen geht weit über die regulären Lerninhalte hinaus und ist meines Erachtens dennoch unersetzlich, um den Schüler*innen zu ermöglichen, sich eine fachlich fundierte und argumentativ begründete Meinung über die zivile Nutzung der Kernenergie zu bilden. Damit dieser Prozess gelingen kann, müssen die Lehrer*innen sich vorher mittels Fachliteratur in diese neuen technischen Konzepte einarbeiten. [Vgl. 8, 9, 10]

4. Das Exit-Spiel zur Wiederholung kernphysikalischer Grundlagen

4.1. Das Spielkonzept

Das Konzept des Spiels ist angelehnt an die Spieleserie „Exit-Das Spiel“ vom Kosmos Verlag. In dieser wurde das Konzept eines „Escape Rooms“ in das Gesellschaftsspielformat überführt. In einem Escape Room werden in der Regel zwei bis acht Spielende für eine gewisse Zeit, meist 60-90 Minuten, eingesperrt und müssen sich durch das gemeinschaftliche Lösen von Rätseln in der vorgegebenen Zeit befreien. Zu Beginn werden die Spielenden durch eine Geschichte in den Kontext der Handlung eingeführt und sobald sie den Raum betreten haben, gilt es durch Teamwork, logisches Denken und Geschicklichkeit, die Aufgaben zu lösen, um dem Raum rechtzeitig zu entfliehen. Escape Rooms zeichnen sich durch ihre Vielzahl an Requisiten aus, welche zur Lösung der Rätsel gesammelt, ergänzt, kombiniert oder anderweitig bearbeitet werden müssen.

Die Spielautoren Inka und Markus Brand haben dieses Konzept zusammen mit dem Kosmos Verlag in die Form eines Gesellschaftsspiels gebracht. Seit dem Jahr 2016 haben die beiden Autoren bereits an die 20 Spiele mit den unterschiedlichsten Geschichten entwickelt, welche in drei Kategorien unterteilt werden, die sich in der Komplexität und im Schwierigkeitsgrad der Rätsel unterscheiden. Die Spiele der Kategorie „Einsteiger“ richten sich an Spielende, die wenig bis gar keine Erfahrung in Live Escape Räumen haben. Die Kategorie „Fortgeschrittene“ richtet sich an ein Publikum, welches schon über einen gewissen Erfahrungsschatz mit Live Escape Räumen und auch Exit Spielen verfügt. Die dritte und letzte Kategorie „Profis“ richtet sich an all diejenigen, die bereits einige Spiele der Kategorie „Fortgeschrittene“ erfolgreich gespielt haben und auf der Suche nach neuen Herausforderungen sind. Es ist den Spielenden also möglich, entgegen dem Konzept von Live Escape Räumen, hier den gewünschten Schwierigkeitsgrad zu wählen. Am Anfang werden die Spielenden durch eine kleine Geschichte in die Handlung des Spiels eingeführt. Die Spielenden werden durch verschiedene Spielkarten, einem Begleitheft voller Rätsel und verschiedenen Gegenständen durch das Spiel geleitet. Zu diesen Karten zählen zum einen die Rätselkarten. Auf diesen sind Hinweise zu den einzelnen Logikrätseln aus dem Begleitheft zu finden, die es zu lösen gilt. Allerdings können auch mehrere Rätselkarten zu ein und demselben Rätsel gehören. Diese müssen dann kombiniert werden, um eine Lösung zu erhalten. Wenn die Spielenden zu einer Lösung gekommen sind, so muss dieser Zahlencode auf der Dekodierscheibe eingestellt werden und es wird von dieser auf eine Lösungskarte verwiesen. Es gibt sowohl richtige als auch falsche Lösungskarten.

Auf den richtigen wird auf ein neues Rätsel verwiesen und die Spielenden dürfen weiteres Spielmaterial in Form von Gegenständen oder Rätselkarten nutzen. Sollte die Lösung jedoch falsch sein, wird die Lösungskarte die Spielenden dazu auffordern, sich erneut an der Lösung des Rätsels zu versuchen. Sollten die Spielenden einmal Probleme mit der Lösung eines Rätsels haben, so können sie Hilfekarten nutzen. Zu jedem Rätsel existieren zwei Hinweise und eine Auflösung, sodass sichergestellt wird, dass auch bei Problemen mit den richtigen Lösungen und Materialien weitergespielt werden kann. Auch hier gilt es, analog zu live Escape Räumen, die Rätsel so schnell wie möglich, ohne wenig Hilfe zu lösen und dem Raum zu entkommen. Das Spiel endet, wenn alle Rätsel gelöst sind und die Spielenden dem Raum erfolgreich entkommen sind. Für das Spielergebnis ist zum einen die benötigte Zeit, aber auch die Anzahl benutzter Hilfekarten von Bedeutung. Beides in Kombination liefert den Spielenden eine Rückmeldung über ihre Leistung. Eine Besonderheit der Exit Spieleserie stellt die einmalige Spielbarkeit des Spiels dar. Dies liegt zum einen darin begründet, dass nach dem Spiel bereits alle Rätsel bekannt sind und es daher keinen Sinn mehr machen würde, das Spiel erneut zu spielen. Andererseits werden im Laufe des Spiels Materialien, Spielkarten und teilweise auch die Spielverpackung zerschnitten, geknickt oder beschriftet, sodass ein Großteil des Spielmaterials nicht mehr für eine weitere Spielrunde zu gebrauchen ist. [Vgl. 1, 2, 3, 4]

Auch bei dem von mir entwickelten Spiel ist dies der Fall, allerdings können die Gebrauchsmaterialien leicht von den Lehrkräften nachproduziert werden. Hierauf werde ich allerdings im nachfolgenden Kapitel genauer eingehen. Ein Großteil der 15 Logikrätsel meines Spiels stellt einen Bezug zu den Unterrichtsinhalten der Kernphysik und Radioaktivität her. In lediglich zwei der Logikrätsel wird nur ein geringer Bezug zu den Unterrichtsinhalten hergestellt. In diesen beiden Rätseln geht es primär um logisches Denken. Weiterhin zeichnet sich mein Spiel durch eine zusätzliche Kategorie von Spielkarten aus. Jedes Logikrätsel wird durch eine Multiple-Choice-Frage ergänzt, um so noch mehr des bereits im Unterricht behandelten Wissens in das Spiel einzubauen. Die Idee hierfür stammt aus der vorangegangenen Arbeit von Dennis Raulin. [Vgl. 4]

4.2. Das Spielmaterial

Zu diesem Spiel gehören insgesamt 211 Spielkarten. Darunter befinden sich 26 Rätselkarten, 14 Multiple-Choice-Fragen-Karten, 73 Hilfe-Karten, sowie 16 richtige und 82 falsche Lösungskarten. Diese Karten werden die Spielenden durch das Spiel führen. Des Weiteren befinden sich in dem Karton noch mehrere Gegenstände, die die Spielenden im

Laufe der Bearbeitung zur Lösung einzelner Rätsel benötigen. Hierzu zählen ein Bauhelm, eine Warnweste, ein seltsamer Metallstab, ein Kabel, eine Platine, ein Periodensystem, eine Nuklidkarte, eine Karte von Deutschland und ein Brief. Zur Organisation des Spielablaufs befinden sich ebenfalls eine Spielanleitung, ein Heft mit Informationen für die Lehrkraft und ein Handzählgerät, welches nachfolgend als Geiger-Müller-Zählrohr angesehen wird, in der Spielverpackung. Da es im Laufe des Spiels notwendig ist, Materialien zu zerschneiden und sich Notizen zu machen, wird von den Spielenden verlangt, eine Schere sowie einen Zettel und einen Stift parat zu legen. Die genaue Bedeutung aller Gegenstände wird in der Betrachtung der einzelnen Rätsel ausführlich erklärt.

Das Design der einzelnen Spielkarten wurde aus der vorangegangenen Arbeit von Dennis Raulin übernommen, um ein einheitliches Erscheinungsbild beider Spiele zu gewährleisten. [Vgl. 4]

4.3. Die Spielvorbereitung

Zu Beginn soll das Laborbuch, das Periodensystem, das Geiger-Müller-Zählrohr, etwas Papier, ein Stift, eine Schere sowie die Spielanleitung auf dem Tisch bereit liegen. Anschließend sollen die Spielkarten in vier Stapel aufgeteilt werden. Der Stapel mit den Rätsel-Karten soll in alphabetisch aufsteigender Reihenfolge sortiert und bereitgelegt werden. Der Stapel mit den Multiple-Choice-Fragen-Karten muss nicht sortiert werden und wird neben den Stapel der Rätsel-Karten gelegt. Die Lösungskarten sollen nach Elementen und Orten alphabetisch aufsteigend sortiert werden. Befinden sich Zahlen auf diesen, so sollen auch diese in aufsteigender Reihenfolge sortiert werden. Der Stapel mit den Lösungskarten wird neben die anderen Stapel gelegt. Die Hilfe-Karten werden nach Symbolen sortiert. Zu jedem Rätsel im Spiel gibt es ein Symbol und den dazugehörigen „1. Tipp“, einen „2. Tipp“ und eine Auflösung. Des Weiteren gibt es zu jedem Symbol einen „1. Tipp Multiple-Choice“ und eine „Auflösung Multiple-Choice“, die zu der jeweiligen Multiple-Choice-Frage gehören, die mit diesem Rätsel verknüpft ist.

4.4. Der Spielablauf

Zu Beginn des Spiels stehen den Spielenden die Spielanleitung, ein Periodensystem und das Laborbuch zur Verfügung. In vielen Exit Spielen gibt es detaillierte Spielpläne, die die Spielenden durch die Geschichte begleiten, dies ist in meinem Spiel nicht der Fall. Die Spielenden sind dazu aufgefordert, sich die Gestaltung der einzelnen Räume eigenständig vorzustellen und so ihre Umgebung zu erkunden. Um in den Räumen weiter vorzudringen, müssen Rätsel gelöst werden. Jedes Rätsel besteht aus einem Logikrätsel und

einer Multiple-Choice-Frage. Durch die Lösung der Logikrätsel erhalten die Spielenden einen Hinweis auf die zugehörige Multiple-Choice-Frage. Sind beide Teile des Rätsels richtig beantwortet, erhalten die Spielenden den Namen einer Lösungskarte, welche ihnen verrät, ob sie das Rätsel erfolgreich gelöst haben und im Spielverlauf weiter voranschreiten oder ob sie falsch lagen und sich an der Lösung erneut versuchen müssen. Sobald alle Rätsel richtig beantwortet wurden, endet das Spiel.

Ein beispielhafter Ablauf eines Rätsels sieht wie folgt aus: Zu Beginn werden die Spielenden von der Lösungskarte des vorangegangenen Rätsels dazu aufgefordert, sich die zum Rätsel gehörenden Rätselkarten aus dem Stapel zu suchen und, sofern es notwendig ist, weiteres Spielmaterial aus dem Karton zu entnehmen. In einigen Rätseln ist neben den Rätselkarten auch eine Seite im Laborbuch von Bedeutung. Auf diese Seite wird ebenfalls auf der vorherigen Lösungskarte verwiesen. Die Rätselkarten beschreiben zunächst das Rätsel genauer und deuten gemeinsam mit dem Material auf das Thema der nachfolgenden Multiple-Choice-Frage hin. Wird die Multiple-Choice-Frage mit dem richtigen Thema identifiziert, so stimmen die Symbole auf den Rückseiten der Karten überein. Die richtigen Antworten der Multiple-Choice-Fragen können entweder Zahlen, Buchstaben oder ganze Wortteile enthalten, die dann zum Lösungswort zusammengesetzt oder zur Lösungszahl addiert werden müssen. Es ist jedoch zu beachten, dass auch die Logikrätsel Bruchstücke liefern, die zur Lösungszahl oder dem Lösungswort beitragen. Die Kombination der beiden Lösungen von Logikrätsel und Multiple-Choice-Frage liefert dann den Namen einer Lösungskarte. Wenn die Spielenden zu einem Lösungselement, einer Lösungshalbwertszeit oder einem Lösungskraftwerk gelangt sind, suchen sie die passende Lösungskarte aus dem Stapel und erfahren, ob ihre Lösung korrekt war. War die Lösung richtig, so erlaubt die Karte den Spielenden weitere Rätselkarten zu ziehen und sie kommen im Spielverlauf weiter voran. War die Lösungs-Karte jedoch falsch, so müssen sich die Spielenden erneut an der Lösung des Rätsels versuchen und zusätzlich muss auf ihrem Geiger-Müller-Zählrohr 1 Mega-Count (1 MCts.) vermerkt werden. Die Anzahl der Counts auf dem Geiger-Müller-Zählrohr gibt am Ende des Spiels in Kombination mit der Bearbeitungszeit eine Auskunft über den Spielerfolg. Der Escape Room besteht aus drei virtuellen Räumen und einem Fahrstuhl, die nach und nach durchquert werden müssen. Jeder der Räume besitzt jedoch ein eigenes Kodierungssystem, sodass die Namen der Lösungskarten mit weiterem Voranschreiten im Spiel variieren. Die ersten fünf Rätsel, die zum ersten Raum gehören, liefern entweder Elementen-Namen oder Kernladungszah-

len, über welche das Lösungselement, unter Zuhilfenahme des Periodensystems, eindeutig zu identifizieren ist. Die Rätsel sechs bis neun aus Raum zwei liefern entweder Kernladungszahlen oder Elementen-Namen, sowie eine zugehörige Massenzahl, sodass unter Zuhilfenahme der Nuklidkarte eine Halbwertszeit des gesuchten Nuklids identifiziert werden kann, welche sich dann auf der Lösungskarte wiederfindet. Ab dem zehnten Rätsel wird der dritte Raum erreicht. Hier werden Bruchstücke der Namen von den deutschen Kernkraftwerksstandorten oder Zahlen geliefert, deren Summe genau ein Kernkraftwerk auf der gefundenen Deutschlandkarte bezeichnet. Das letzte Logikrätsel mit der Nummer 15 liefert direkt den Namen der Lösungskarte ohne eine dazugehörige Multiple-Choice-Frage.

Selbstverständlich können bei der Bearbeitung der einzelnen Rätsel auch Probleme auftreten. Hierfür sind die Hilfekarten im Spiel. Jede Hilfekarte hat ein Symbol passend zu dem dazugehörigen Rätsel zugewiesen bekommen. Es existieren jeweils zwei Hilfen und eine Auflösung zu jedem Logikrätsel sowie eine Hilfe und eine Auflösung zu jeder Multiple-Choice-Frage. Die erste Hilfe der Logikrätsel liefert immer nur eine grobe Einordnung und gibt noch keine konkreten Anweisungen, die zur Lösung des Rätsels beitragen. Die zweite Hilfe gibt dann genauere Handlungsanweisungen, um die Spielenden auf die richtige Lösungsstrategie aufmerksam zu machen. In der Auflösung wird dann kleinschrittig erklärt, wie genau die Spielenden zu welcher Lösung hätten gelangen sollen. Die erste Hilfe der Multiple-Choice-Fragen eliminiert eine oder mehrere falsche Antwortoptionen, wohingegen die Auflösung dann die richtigen Antwortoptionen benennt. Die Benutzung der Hilfekarten hat allerdings auch einen Vermerk von Counts auf dem Geiger-Müller-Zählrohr zur Folge. Für die erste Hilfe werden sowohl für die Logikrätsel als auch für die Multiple-Choice-Fragen 1 MCts. vermerkt. Für die zweite Hilfe 2 MCts. Und für die Auflösungen jeweils 3 MCts.

4.5. Die Handlung

Die Handlung des Spiels beginnt mit einer einleitenden Geschichte am Ende der Spielanleitung. Hier wird den Spielenden berichtet, dass sie sich auf einer Klassenfahrt im Erzgebirge befinden und sich spät abends unbemerkt aus der Jugendherberge geschlichen haben, um ein Abenteuer zu erleben. Allerdings gibt es in dem kleinen Dorf Hartenstein, nicht sonderlich viel zu erleben. Nach kurzer Zeit wird eine alte Minenanlage entdeckt, die genauer erkundet wird. In den heruntergekommenen Gebäuden finden die Spielenden

einen Aufzug, den sie sich genauer anschauen. Bei dem Versuch den Fahrstuhl zu aktivieren, fällt dieser viele hundert Meter in die Tiefe. Als alle das Wrack des Fahrstuhls unverletzt verlassen haben, finden die Spielenden ein Schild, welches ihnen verrät, dass sie sich in einer alten Uranmine der SDAG Wismut befinden. Ab diesem Zeitpunkt sind die Spielenden auf sich alleine gestellt. Das Spiel beginnt mit dem Fund eines Periodensystems und einem ersten Rätsel. Dieses muss gelöst werden, um weitere Rätselkarten und Materialien zu finden, die den Spielenden helfen, die Uranmine rechtzeitig zu verlassen. Insgesamt sind 15 Logikrätsel und 14 Multiple-Choice-Fragen zu verschiedensten Themenbereichen der Kernphysik und Radioaktivität zu lösen und zu beantworten, damit nach dem Durchqueren aller drei Räume der Notfahrstuhl erreicht wird, der die Spielenden wieder an das rettende Tageslicht bringen kann. Der erste Raum schließt direkt an den abgestürzten Fahrstuhl an. In ihm steht ein alter, nicht ordentlich geführter Schreibtisch und am Ende befindet sich eine schwere, verschlossene Stahltür, die es durch das Lösen der ersten fünf Rätsel zu öffnen gilt. Nach dem erfolgreichen Öffnen der Stahltür wird ein zweiter Raum betreten, der zur Verwunderung aller Beteiligten schon beleuchtet ist. In diesem Raum befinden sich mehrere Gaslampen, eine alte Lore voller Erzklumpen und eine Warnweste, die zur Lösung eines der vier Rätsel in diesem Raum benötigt wird. An einem Ende des Raums befindet sich eine Luke zu einem schmalen Lüftungsschacht, die mit einem Zahlenschloss verriegelt ist. Durch die korrekte Lösung der vier Rätsel öffnet sich das Schloss und die Spielenden bewegen sich durch ein Labyrinth aus Lüftungsschächten, bis der letzte Raum erreicht wird. In diesem Raum befindet sich die ersehnte Tür zum Fahrstuhlschacht, die es nun zu öffnen gilt. Hierzu müssen erneut fünf Rätsel gelöst werden. Im Laufe der Untersuchung des letzten Raums werden ein Bauhelm und ein Kabel gefunden, die bei der Öffnung der Fahrstuhltür behilflich sein werden. Nachdem auch die Fahrstuhltür geöffnet wurde, besteht die letzte Aufgabe darin, die Kontakte auf der Steuerungsplatine des Fahrstuhls zu verkabeln, damit dieser alle wieder an die Oberfläche bringt. Nachdem die Spielenden auch diese Herausforderung gemeistert haben und sie erleichtert an der Oberfläche ankommen sind, sind sie äußerst verwirrt. Sie werden nämlich von ihrem Physiklehrer in Empfang genommen, der ihnen erklärt, dass sie unfreiwillig in den eigentlich für den morgigen Tag geplanten Escape-Room hineingestolpert sind. Abschließend wird mit dem Geiger-Müller-Zählrohr und der Stoppuhr das Spielergebnis überprüft. Das Regelheft, in dem in die Handlung eingeführt wird, ist im Anhang beigelegt.

4.6. Vorstellung der einzelnen Rätsel

Nachfolgend werden die insgesamt 15 Rätsel, die jeweils aus einem Logikrätsel und einer Multiple-Choice-Frage bestehen, ausführlich erläutert. Hierbei wird nach einer kurzen inhaltlichen Einführung zuerst das Logikrätsel mit den dazugehörigen Lösungsmöglichkeiten und nachfolgend die dazugehörige Multiple-Choice-Frage sowie deren Lösungsmöglichkeiten erklärt.

4.6.1. Rätsel 1: Nomenklatur von Atomkernen

Nachdem die Spielenden die einführende Geschichte gelesen haben, konnten sie sich aus dem Wrack des Fahrstuhls befreien und durchsuchen den ersten Raum. In diesem werden Grundlagen der Kernphysik und Radioaktivität behandelt, wie zum Beispiel die unterschiedlichen Strahlungsarten. Bei der Durchsuchung finden sie die Rätselkarte „B“ auf der folgendes geschrieben steht: „*Ihr schaut Euch etwas im Raum um. Als Ihr eure Panik allmählich in den Griff bekommt, findet Ihr einen alten Schreibtisch. Auf besagtem Schreibtisch herrscht ein heilloses Chaos, aber Ihr findet ein Periodensystem.... Vielleicht hilft es Euch?! Moment mal, was ist das? Auf einem der Bücher steht "Laborbuch". Ihr schlagt die erste Seite auf.... Tipp: Denkt daran, dass Euch das Rätsel einen Hinweis auf eine weiterführende Frage gibt!*“ Die Spielenden werden dazu aufgefordert, die erste Seite des Laborbuchs (Abbildung 1) aufzuschlagen. Auf dieser ist ein Kreuzworträtsel abgedruckt, welches bearbeitet werden muss, um ein Lösungswort zu erhalten. Zusätzlich ist zu dem Kreuzworträtsel noch das Kreissymbol auf der Laborbuchseite abgedruckt, damit die Hilfe- und Lösungskarten eindeutig diesem Rätsel zuzuordnen sind. Durch einen kurzen Satz auf der Laborbuchseite wird darauf verwiesen, dass dieses Rätsel benötigt wird, um die Multiple-Choice-Frage zu beantworten.

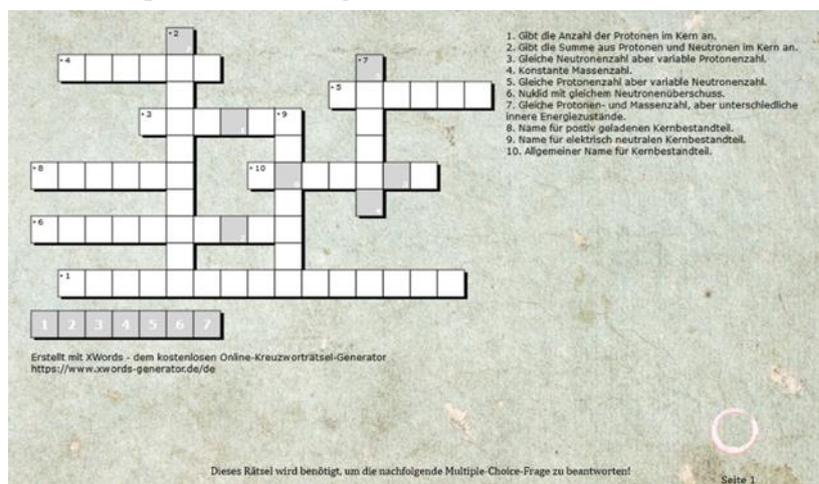


Abbildung 1: Lösung zur Laborbuchseite 1

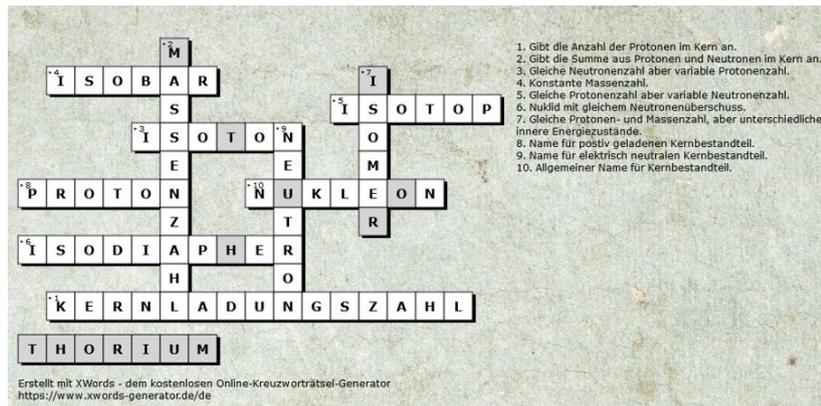


Abbildung 2: Laborbuchseite 1

Wie bereits beschrieben, existieren zu jedem Logikrätsel drei Hilfe-Karten. Für das erste Rätsel besagen diese Folgendes:

- 1. Tipp: Gesucht werden die Fachbegriffe für bestimmte Kernbestandteile und Nuklidgruppen.
- 2. Tipp: Bei zwei Fragen spricht man von gewissen ZAHLEN. Fünf der Antworten tragen die Silbe ISO und drei die Silbe ON in ihren Namen.
- Auflösung: 1. Kernladungszahl 2. Massenzahl 3. Isoton 4. Isobar 5. Isotop 6. Isodiapher 7. Isomer 8. Proton 9. Neutron 10. Nukleon Lösungswort: THORIUM Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Nomenklatur von Atomkernen" aufmerksam geworden sein.

Für die Benutzung der Hilfe-Karten muss auf dem Handzählgerät die vorher beschriebene Anzahl an MCts. vermerkt werden. Die Multiple-Choice-Frage zu diesem Rätsel lautet wie folgt: „Welche der nachfolgenden Aussagen über das untenstehende Nuklid treffen zu? $^{234}_{91}\text{Pa}$ “

- Die Massenzahl des Nuklids ist 91. 1
- Das Nuklid besitzt 143 Neutronen. 2
- Die Kernladungszahl ist 234. 6
- Das Nuklid befindet sich in einem angeregten Zustand. 3

Die Spielenden sollen wie bereits beschrieben, die Zahlen der richtigen Antwortoptionen addieren. Auch zu der Multiple-Choice-Frage gibt es zwei Hilfe-Karten.

- 1. Tipp: Die Massenzahl steht oben links, die Kernladungszahl unten links. Die Neutronenzahl ist unten rechts zu finden, sofern sie aufgetragen ist. Das "m" steht für metastabil.
- Auflösung: Die richtigen Antworten sind mit den Zahlen 2 und 3 versehen.

Den Spielenden wurde somit aus dem Logikrätsel das Lösungselement Thorium mit der Kernladungszahl 90 geliefert. Diese muss nun mit den richtigen Lösungszahlen der Multiple-Choice-Frage addiert werden, um zum Lösungselement zu gelangen. Somit ergibt sich eine Kernladungszahl von 95, die zur Lösungs-Karte „Americium“ führt. Auf dieser steht geschrieben: *„Nachdem Ihr die erste Herausforderung gemeistert habt, seht Ihr unter dem Schreibtisch die Rätselkarten D, G und Z.“* Hiermit ist das erste Rätsel erfolgreich beendet worden und es kann sich dem zweiten Rätsel gewidmet werden.

4.6.2. Rätsel 2: Alpha-Strahlung

Für dieses Logikrätsel wird die soeben gefundene Rätsel-Karte „G“ benötigt, welche mit dem Symbol des Quadrats gekennzeichnet ist. Die anderen beiden Rätsel-Karten „D & Z“ sind erst für spätere Rätsel von Bedeutung. Auf Karte „G“ steht geschrieben: *„Ihr seid so erleichtert, dass Ihr das erste Rätsel gelöst habt, dass Ihr gleich weiter machen wollt! Schaut Euch nun die zweite Seite im Laborbuch an. Welche dieser drei Grafiken stellt den Bragg-Peak dar?“* Es wird also von den Spielenden verlangt, die Laborbuchseite zwei (Abbildung 3) aufzuschlagen und unter den drei Grafiken den Bragg-Peak zu identifizieren.

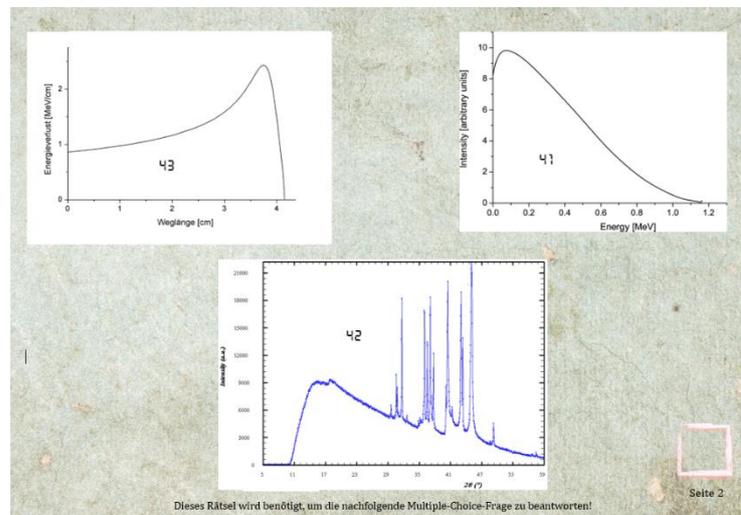


Abbildung 3: Laborbuchseite 2

Auch zu diesem Rätsel gibt es Hilfe-Karten, die zu den bekannten Bedingungen genutzt werden können.

- 1. Tipp: Der Bragg-Peak tritt für massive geladene Teilchen auf und ist daher vor allem für die Alpha-Strahlung von Bedeutung!
- 2. Tipp: Massive geladene Teilchen geben in ihrer Wechselwirkung mit Materie ihre Energie nicht kontinuierlich ab. Die abgegebene Energiemenge wächst mit sinkender Geschwindigkeit hin zu einem Maximum, dem Bragg-Peak, bevor das Teilchen vollständig abgebremst wird.
- Auflösung: Aufgetragen wird in dem Diagramm der Energieverlust gegen die zurückgelegte Strecke. Das Diagramm mit der Nummer 43 ist richtig. Nummer 41 ist ein Beta-Spektrum und Nummer 42 ein Röntgenspektrum. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Alpha-Strahlung" aufmerksam geworden sein.

Auf der Multiple-Choice-Karte ist folgende Frage zu finden: „*Welche der Aussagen über die Alpha-Strahlung sind richtig?*“

- ${}_{94}^{239}\text{Pu} \rightarrow {}_{92}^{235}\text{U} + {}_2^4\text{He}$ 14
- Die Reichweite in Luft beträgt einige Meter. 13
- Die Kernladungszahl des Mutternuklids ist immer um zwei größer als die des Tochternuklids. 12
- Kann bereits mit einem Blatt Papier abgeschirmt werden. 18

Auch hier sind folgende Hilfen nutzbar:

- 1. Tipp: Die Skalierung des richtigen Diagramms hilft Euch, die falsche Lösung zu finden.
- Auflösung: Die richtigen Antwortmöglichkeiten sind 14, 12 und 18.

Die Addition der drei Zahlen aus der Multiple-Choice-Frage und der 43, welche im richtigen Diagramm versteckt war, ergibt die Kernladungszahl 87 und somit die Lösungskarte „Francium“. Auf dieser befinden sich folgende Anweisungen: „*Eure Untersuchung des Raumes schreitet weiter voran. Ihr bewegt euch vorsichtig an den heruntergekommenen Einrichtungsgegenständen vorbei durch den Raum. Ihr findet auf dem Boden vor einem alten Werkzeugkoffer die Rätselkarten X, I und P.*“ Damit ist auch das zweite Rätsel gelöst und die Spielenden können sich dem Dritten widmen.

4.6.3. Rätsel 3: Beta-Strahlung

Die Spielenden haben auch in diesem Fall mehr Rätselkarten gefunden, als sie benötigen. Für dieses Rätsel ist nur die Rätsel-Karte „P“ von Bedeutung, die Karten „X & I“ werden für später folgende Rätsel benötigt. Folgende Informationen sind der Karte „P“ zu ent-

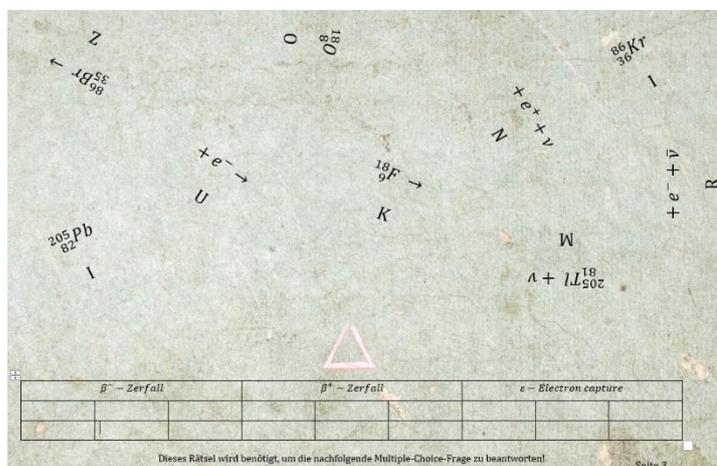


Abbildung 4: Laborbuchseite 3

nehmen: „Nachdem Ihr die ersten beiden Rätsel so erfolgreich gelöst habt, seid Ihr zuversichtlich, hier bald rauszukommen und blättert im Laborbuch eine Seite weiter! Vielleicht steht dort ja wie Ihr hier wieder rauskommt... Aber als Ihr die dritte Seite im Laborbuch seht, fragt ihr euch, was euch dieses Chaos nur sagen soll.“ Die Spielenden haben sich im Laborbuch bereits bis zur dritten Seite (Abbildung 4) voran gearbeitet und müssen nun Ordnung in das Buchstaben- und Zahlenchaos auf der Laborbuchseite bringen. Neben den vielen Radionukliden findet sich auf der Seite auch eine Tabelle, die mit den drei Arten des Beta-Zerfalls beschriftet ist.

Die Hilfe-Karten für dieses Rätsel liefern folgende Informationen:

- 1. Tipp: Was haben eigentlich die Pfeile sowie die + & - Zeichen zu sagen? Könnten in dem Chaos etwa Reaktionsgleichungen versteckt sein?
- 2. Tipp: Neben dem Zahlen- und Buchstabenchaos findet sich auf der Seite auch eine Tabelle. Die sollte helfen, Ordnung in das Chaos zu bringen.
- Auflösung: Wenn Ihr die Reaktionsgleichungen der Zerfallsarten in der richtigen Reihenfolge in die Tabelle eingesetzt habt, ergibt sich das Lösungswort ZIRKONIUM. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Beta-Strahlung" aufmerksam geworden sein.

Durch die Beschriftung der Tabelle sollten die Spielenden auf die Multiple-Choice-Karte „Beta-Strahlung“ aufmerksam geworden sein. Auf dieser ist zwischen folgenden Antwortoptionen zu entscheiden: „*Welche der Aussagen über den Beta-Zerfall sind korrekt?*“

- kontinuierliches Energiespektrum UM
- typische Energie hunderte MeV IN
- N-13 nutzt man in der Medizin für die Elektronen-Emissions-Tomographie TRI
- Abschirmung durch Alu VA
- Veränderung der Massenzahl RUBI
- Zerfall bewegt sich auf Isobare DI
- diskretes Energiespektrum SCAN
- Energieabgabe durch Neutron RHO
- Reichweite in Luft: cm – m NA
- Entdeckung Neutrino 1938 IRI

Die Besonderheit dieser Multiple-Choice-Frage liegt in der Art der Lösungsbestandteile, die die richtigen Aussagen liefern. In diesem speziellen Fall müssen keine Zahlen addiert werden, sondern es werden Bestandteile eines Namens von einem bestimmten Element geliefert. Die Hilfe-Karten besagen in diesem Fall folgendes:

- 1. Tipp: Es gibt nur vier richtige Antworten.
- Auflösung: Die richtigen Antworten sind UM, VA, DI und NA.

Das Logikrätsel lieferte das Element Zirkonium ($Z = 40$) und die Multiple-Choice-Frage das Element Vanadium ($Z = 23$). Addiert man nun die Kernladungszahlen, erhält man die Lösungs-Karte „Europium“. Auf dieser sind weitere Instruktionen für die Spielenden zu finden: „*Beim Umblättern im Laborbuch fallen Euch die Rätselkarten T und S entgegen.*“ Das dritte Rätsel ist damit ebenfalls abgeschlossen und die Spielenden können mit der Bearbeitung des Vierten beginnen.

4.6.4. Rätsel 4: Gamma-Strahlung

Nachdem die Spielenden die große, aber verschlossene Stahltür und den mysteriösen Brief gefunden haben, muss das Rätsel mit dem Symbol Fünfeck gelöst werden. Hierfür wird von den beiden gefunden Karten jedoch nur Karte „S“ benötigt. Neben dem folgenden Text ist auf der Karte noch eine Abbildung zu finden, die zur Rückseite des Briefs passt. „*Euer bester Freund hat sich in dem Raum etwas weiter umgeschaut und eine*

große, aber leider verschlossene Stahltür gefunden. Außerdem hat er diesen Brief auf dem Schreibtisch entdeckt. Vielleicht hilft Euch der ja beim Öffnen der Tür....“ Eine vollständige Abbildung des Briefs findet sich im Anhang auf Seiten XXXVII & XXXVIII. Dieses Logikrätsel grenzt sich durch eine Eigenschaft von allen anderen Logikrätseln dieses Spiels ab, denn es besitzt keinen physikalischen Inhalt, der wiederholt werden soll. Diese Aufgabe wird alleine von der Multiple-Choice-Frage übernommen. Auf dem Brief (Abbildung 6 & 7) sind zum einen die selben umrandeten Buchstaben auf der Vorderseite und auf der Rückseite weitere Buchstaben mit den selben blauen Linien wie auf der Rätsel-Karte (Abbildung 5) abgebildet. Das Design und die Idee dieses Logikrätsels stammen von den Autoren Inka und Markus Brand, die einen Brief als Material für das Exit-Spiel „Die Katakomben des Grauens“ entwickelt haben. Damit dieses Rätsel dem Sinn und Zweck dieses Spiels gerecht wird, habe ich den Inhalt und das Design an das Lernziel, sowie den Handlungsverlauf und die Geschichte dieses Exit-Spiels angepasst. [Vgl. 1]

Sollten bei der Lösung dieses Rätsels Probleme auftreten, so können auch hier folgende Hilfe-Karten zu Rate gezogen werden:

- 1. Tipp: Wieso ist der Firmenname so komisch geschrieben? Ein M steht über dem S und bei drei weiteren Buchstaben ist das auch so.... Habt Ihr schon das Raster auf der Rückseite gesehen?!
- 2. Tipp: Die Rätselkarte verrät euch, dass ein I über dem S die Zahl 8 ergibt. Die 8 besteht aus den gleichen blauen Linien wie das Raster auf der Rückseite des Briefs. Lassen sich die Umrandungen für jeden Buchstaben etwa zu Zahlen zusammensetzen?
- Auflösung: $6 + 4 + 2 + 5 = 17$. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Gamma-Strahlung" aufmerksam geworden sein

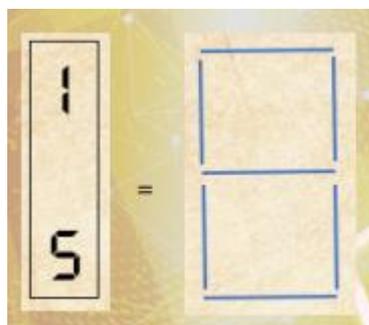


Abbildung 5: Abbildung auf der Rätsel-Karte "S"

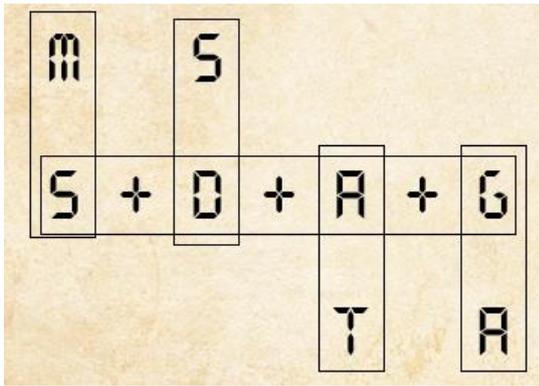


Abbildung 6: Abbildung auf der Vorderseite des Briefs

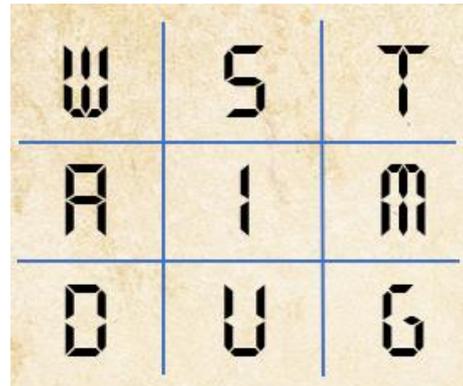


Abbildung 7: Abbildung auf der Rückseite des Briefs

Auf der dazugehörigen Multiple-Choice-Frage muss zwischen diesen Antwortoptionen gewählt werden: „*Welche Aussagen über die Gamma-Strahlung sind korrekt?*“

- Gamma-Strahlung kann nie vollständig abgeschirmt werden. 21
- Beim Gamma-Zerfall ändert sich das chemische Element. 37
- Die Energieabgabe erfolgt meist nach einem vorangegangenen Kernzerfall. 45
- Die Gamma-Photonen können in elektrischen und magnetischen Feldern abgelenkt werden. 44

Die Hilfe-Karten unterstützen die Spielenden bei dieser Frage wie folgt:

- 1. Tipp: Es gibt nur zwei richtige Antworten. Können Ihr Lichtstrahlen in elektromagnetischen Feldern ablenken?
- Auflösung: Die Antworten 21 und 45 sind richtig.

In diesem Rätsel liefert wieder die Addition aller richtigen Zahlen die Kernladungszahl des Lösungselements. In diesem Falle ist es die Lösungs-Karte „Bismut“ ($Z = 83$). Auf dieser befindet sich folgender Text: „*Der Inhalt des Briefes stimmt Euch nachdenklich... Ob es wirklich gefährlich hier unten ist? Uran soll ja zumindest nicht gesundheitsfördernd sein, soviel habt Ihr im Physikunterricht auch noch verstanden! Um euch etwas abzulenken, geht Ihr zu der großen Stahltür. Dort findet Ihr die Rätselkarte Y und eine Nuklidkarte.*“ Damit können die Spielenden zum finalen Rätsel des ersten Raumes übergehen.

4.6.5. Rätsel 5: Nuklidkarte

Zur Bearbeitung dieses Rätsels werden die Rätsel-Karten „Y & D“ sowie die vierte Seite des Laborbuches benötigt. Auf Rätselkarte D steht geschrieben: „*Ihr habt die Rätselkarte D gefunden und schlagt Seite vier im Laborbuch auf. Hier stehen viele griechische Wörter und komischerweise auch römische Zahlen.... Ihr entdeckt an der Stahltür ein Zahlenschloss, aber welcher Code öffnet nur diese verfluchte Tür? Vielleicht helfen euch die griechischen Wörter dabei?! I = 1 V = 5 X = 10 L = 50 C = 100*“ Zusammen mit den griechischen Wörtern auf Karte „Y“ und dem griechischen Alphabet aus dem Laborbuch wird nun von den Spielenden erwartet, zu übersetzen und in der Nuklidkarte herauszufinden, ob es sich bei den besagten Nukliden um Beta-Minus-Strahler handelt. Hierzu gibt es folgende Hilfekarten:

- 1. Tipp: Die deutschen Übersetzungen der Wörter lauten: Helium, Lithium, Aktinium, Chlor, Technetium und Promethium. Bei dem "-" auf der Rätselkarte handelt es sich um ein Minus und nicht um einen Bindestrich!
- 2. Tipp: Die römischen Zahlen lauten: 6, 8, 227, 37, 99 und 151. Hierbei handelt es sich um die Reihenfolge der griechischen Wörter von der Rätselkarte!
- Auflösung: Gesucht waren folgende Nuklide: He-6 (Beta -); Li-8 (Beta -); Ac-227 (Beta -); Cl-38 (Beta -); Pm-151 (Beta -); Tc-99 (Beta -) Alle Beta Minus Nuklide liefern richtige Buchstaben für das Lösungswort. Die Multiple-Choice Frage "Nuklidkarte" liefert die fehlenden Buchstaben.

Die nachfolgende Multiple-Choice-Frage besitzt eine weitere Besonderheit. In dieser müssen sich die Spielenden entscheiden, ob die vier Aussagen jeweils zutreffend sind oder nicht. Je nach Entscheidung der Spielenden liefern die Aussagen dann unterschiedliche Buchstaben für das Lösungswort. In dieser Frage ist ein Bild des Nuklids Kalium-40 aus der Karlsruher Nuklidkarte abgebildet und folgende Aussagen müssen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

- | | | |
|------------------------------|------------|-----------|
| ▪ primordiales Nuklid | richtig: G | falsch: E |
| ▪ Massenanteil 1,17% | richtig: P | falsch: I |
| ▪ 50-95% Beta- & 5-50% Beta+ | richtig: N | falsch: R |
| ▪ 50-95% Beta+ & 5-50% Beta- | richtig: F | falsch: D |

Folgende Hilfen sind für diese Aufgabe vorgesehen:

- 1. Tipp: Die zweite Antwort ist falsch!
- Auflösung: Die gesuchten Buchstaben sind: G, I, N, D.

Werden alle richtigen Buchstaben aus dem Logikrätsel und der eben behandelten Frage in die richtige Reihenfolge gebracht, so ergibt sich die Lösungs-Karte „Gadolinium“. Auf dieser ist folgender Text zu finden: „*Das Schloss springt auf und gemeinsam schiebt Ihr die schwere Tür auf. Ihr seid verunsichert, da in dem neuen Raum, den Ihr soeben erreicht habt, bereits Licht brennt... War hier etwa schon jemand vor Euch?! An der brennenden Gaslampe findet Ihr die Rätselkarten W und M.*“ Durch diese Lösung haben die Spielenden den ersten Raum überwunden und können nun in den zweiten Raum vordringen.

4.6.6. Rätsel 6: Detektion ionisierender Strahlung

Die erste große Hürde wurde von den Spielenden gemeistert. Die Stahltür ist geöffnet und der erste Raum konnte verlassen werden. Die Spielenden befinden sich nun tief im Inneren der Mine und sind verwundert, da in diesen Raum noch Licht brennt. Und das obwohl der Schacht 371 bereits in den 1990er Jahren stillgelegt wurde! Nichts destotrotz wollen alle nur schnellstmöglich die Schachanlage verlassen und daher betrachten die Spielenden die Rätsel-Karte „M“ genauer. Auf dieser steht geschrieben: „*Der neue Raum, den Ihr betreten habt, wird spärlich durch eine alte Gaslampe beleuchtet. Ihr könnt kaum etwas sehen, also schaut Ihr Euch gemeinsam die fünfte Seite des Laborbuchs an! Auf Rätselkarte Z habt Ihr viele Begriffe gefunden, die wohl in besagte Grafik gehören.... In diesem Raum sind nun die Halbwertszeiten spezieller Nuklide von Bedeutung für Eure erfolgreiche Flucht!*“ Auf besagter Laborbuchseite findet sich eine schematische Skizze eines Geiger-Müller-Zählrohrs (Abbildung 8) und auf Rätsel-Karte „Z“ sind Begriffe zu

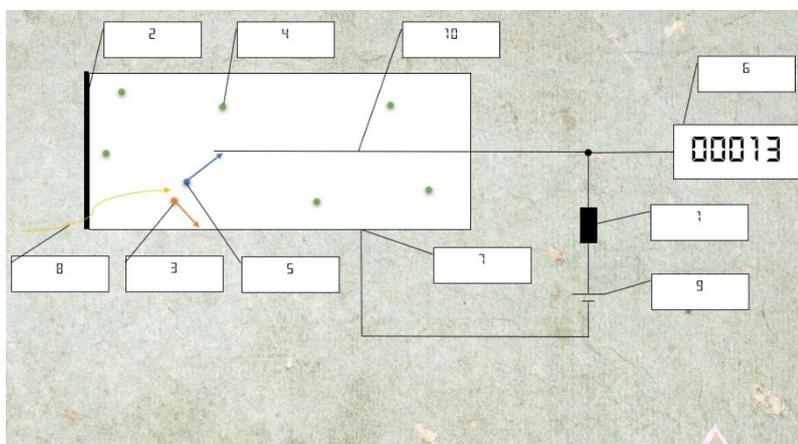


Abbildung 8: Laborbuchseite 5

finden, die sich in die leeren Kästchen der Skizze eintragen lassen. Die Spielenden müssen also ihr Wissen über den Aufbau eines Geiger-Müller-Zählrohrs nutzen, um diese Aufgabe zu lösen.

Die Unterstützung der Spielenden ist in diesem Rätsel durch folgende Hilfe-Karten gewährleistet:

- 1. Tipp: Insgesamt sind vier Begriffe, die recht ähnlich zu den richtigen Begriffen sind, zu viel im Spiel.
- 2. Tipp: Die Zahlen geben die Reihenfolge der Buchstaben im Lösungswort an.
- Auflösung: Das Lösungswort ist STICKSTOFF. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Detektion ionisierender Strahlung" aufmerksam geworden sein.

Die Laborbuchseite hätte die Spielenden auf die Multiple-Choice-Frage „Detektion ionisierender Strahlung“ aufmerksam machen sollen. Diese besagt: „*Welche dieser Behauptungen sind falsch?*“

- Die Totzeit eines Geiger-Müller-Zählrohrs liegt typischerweise im Bereich von einigen ms. 8
- Bei hohen Zählraten unterschätzt das GMZ die Strahlungsemission. 9
- Ein Halbleiterdetektor ist im Grunde genommen eine in Sperrrichtung geschaltete Diode. 12
- Das GMZ arbeitet in einem Spannungsbereich von einigen 10 V. 5

Die Spielenden werden bei dieser Frage wie folgt unterstützt:

- 1. Tipp: Die Antwortmöglichkeit zu der Zahl 5 ist falsch.
- Auflösung: Die falschen Antworten sind 8 und 5.

Zur Lösung des Rätsels müssen das im Logikrätsel gefundene Element und die Massenzahl 13 aus der Multiple-Choice-Frage ($8+5=13$) zum Radionuklid N-13 kombiniert werden. In der Nuklidkarte findet sich für dieses eine Halbwertszeit von 9,96 m und liefert somit die Lösungs-Karte: „*Ihr habt Euch langsam durch den Raum bewegt und noch weitere Gaslampen gefunden. Nachdem Ihr die restlichen Lampen angezündet habt, seht Ihr erst, wie groß der Raum eigentlich ist. Es stehen mehrere Loren und viele Werkzeuge herum. Einer deiner Freunde wühlt in den Erzklumpen vor einer der Loren. Dort findet er eine Warnweste und die Rätselkarten K und U.*“ Die Spielenden können demnach mit dem siebten Rätsel fortfahren.

4.6.7. Rätsel 7: Wechselwirkung von Strahlung mit Materie

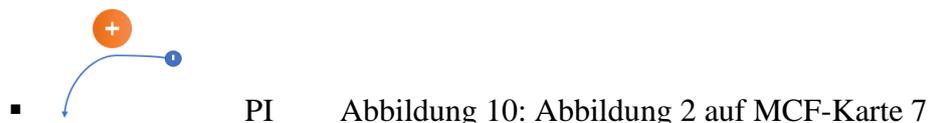
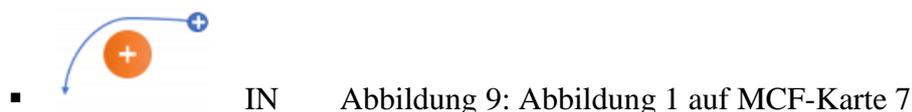
Zur Lösung dieses Rätsels werden die Rätsel-Karten „K, X & T“ sowie die Warnweste benötigt. Auf den Rätsel-Karten „K & X“ und der Warnweste sind insgesamt drei Abbildungen von unterschiedlichen Strahlungswechselwirkungsmechanismen zu finden (siehe Anhang). Rätsel-Karte „T“ erläutert die Aufgabe: *„Nachdem Ihr schon die Rätselkarten X und K sowie die Warnweste gefunden habt, fragt Ihr Euch, was für Phänomene denn auf den drei Bildern dargestellt werden. Um die richtige Massenzahl zu erhalten, müsst Ihr die Bilder in die richtige energetisch aufsteigende Reihenfolge bringen.“*

Nachfolgende Hinweise können von den Spielenden zu Rate gezogen werden:

- 1. Tipp: Bei der Wechselwirkung von Gamma-Strahlung mit Materie gibt es drei besonders wichtige Prozesse.
- 2. Tipp: Jeweils ein Prozess überwiegt in einem bestimmten Energiebereich der Gamma-Photonen. Es liegt an Euch, zuzuordnen, welcher dieser Prozesse in welchem Energiebereich (niedrig, mittel, hoch) besonders stark ausgeprägt ist.
- Auflösung: Photoeffekt bis 0,1 MeV, Compton-Effekt von 0,1 - 1 MeV, Paarzeugung ab 1,022 MeV. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Wechselwirkung von Strahlung mit Materie" aufmerksam geworden sein.

Anschließend muss noch die Multiple-Choice-Frage „Wechselwirkung von Strahlung mit Materie“ beantwortet werden: *„Welche dieser Aussagen treffen zu?“*

- Abschirmungen können sekundäre Strahlungsquellen darstellen. UM
- $E_{vor} = h \cdot f - E_{nach}$ DI
- Beschleunigte Ladungen strahlen. CAE
- Elektronen verlieren ihre Energie ausschließlich durch Bremsstrahlung. EURO
- Das Coulombfeld des Kerns ist für die Bremsstrahlung verantwortlich. SI



Diese Hilfe-Karten könnten von den Spielenden benutzt werden:

- 1. Tipp: Ladungen werden durch das Coulombfeld des Kerns beschleunigt.
- Auflösung: Die richtigen Antworten sind UM, CAE und SI.

Die Multiple-Choice-Frage liefert in diesem Fall das Lösungselement Caesium und aus dem Logikrätsel erfahren die Spielenden die Massenzahl 135, sofern die drei Bilder in die richtige Reihenfolge sortiert wurden. Mit der Nuklidkarte lässt sich die Lösungskarte „ $2,3 \cdot 10^6 \text{ a}$ “ finden: „*Gemeinsam geht Ihr weiter durch den großen Raum und seht in der linken Ecke etwas aufblitzen. Unter einem Scherbenhaufen, der wohl das Licht Eurer Lampe reflektiert hat, findet Ihr noch die Rätselkarte E.*“ Die Spielenden haben ein weiteres Rätsel erfolgreich gelöst und stehen somit auch kurz davor, den zweiten Raum zu verlassen.

4.6.8. Rätsel 8: Kernzerfall

In diesem Rätsel werden die Rätsel-Karten „E & W“ benötigt. Auf diesen ist folgender Text zu finden: „*Ihr habt bereits die Rätselkarte E gefunden. Auf Rätselkarte E stehen drei Zahlwerte für euch bekannte physikalische Größen. Aus Herrn Rüthers Unterricht wisst Ihr, was nun ansteht: Geg.: Ges.: Lsg.:*“ und „*Die ersten drei Ziffern des Ergebnisses verraten euch die gesuchte Isobare. $t = 2\text{s}$ $t_{\frac{1}{2}} = 1\text{s}$ $N(t) = 57.$* “

In diesem Logikrätsel wird nun tatsächlich von den Spielenden verlangt, eine umfangreichere Berechnung im Kopf durchzuführen. Die Zahlen sind allerdings alle so gewählt, dass Schüler*innen mit diesen auch ohne Taschenrechner problemlos zurecht kommen sollten. Sollten wiedererwartend dennoch Probleme auftreten, so können die Spielenden auch hier nachfolgende Hilfe-Karten beanspruchen:

- 1. Tipp: Gesucht wird die Anzahl radioaktiver Kerne zum Zeitpunkt $t=0$! Vielleicht hilft Euch dabei die Zerfallsgleichung?!

- 2. Tipp:
$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}} \Leftrightarrow N_0 = \frac{N(t)}{2^{-\frac{t}{t_{\frac{1}{2}}}}}$$

- Auflösung: Die gesuchte Zahl ist die 228. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Kernzerfall" aufmerksam geworden sein.

4.6.9. Rätsel 9: Zerfallsreihen

Für das letzte Rätsel des zweiten Raumes benötigen die Spielenden die Rätsel-Karten „O & U“ sowie die sechste Seite des Laborbuchs. Auf Rätsel-Karte „U“ sind viele Radionuklide aufgelistet und auf Rätsel-Karte „O“ ist folgende Anweisung zu finden: *„Ihr habt einen kleinen Lüftungsschacht gefunden. Dieser ist aber mit einem Zahlenschloss gesichert. Fünf Zahlen sollen eingegeben werden.... Ihr wisst nicht weiter und schaut in Euer Laborbuch und schlagt die sechste Seite auf. Vielleicht hilft Euch das Rätsel sowie die Rätselkarte "U", die richtige Zahlenkombination zu finden....“* Auf Seite sechs im Laborbuch (Abbildung 11) ist ein N-Z Diagramm abgebildet, in dem vier Farbverläufe eingezeichnet wurden und acht Kästchen farbig hinterlegt sind. Von diesen acht farbig hinterlegten Kästchen tragen immer genau zwei dieselbe Farbe, passend zu einem Farbverlauf.

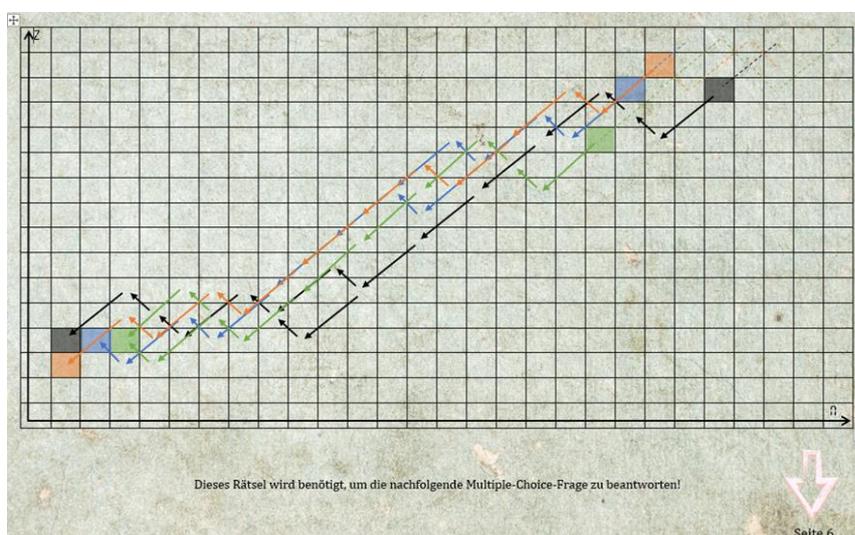


Abbildung 11: Laborbuchseite 6

Sollten die Spielenden nicht von alleine herausfinden, dass es sich hierbei um die vier natürlichen Zerfallsreihen handelt, so können diese Hilfe-Karten genutzt werden:

- 1. Tipp: Drei der gesuchten Nuklide haben $Z=82$.
- 2. Tipp: Nutzt das Euch bekannte $4n$ -Schema, um die Start- und Endnuklide eindeutig einander zuordnen zu können. $4n$; $4n+1$; $4n+2$; $4n+3$
- Auflösung: Es ergeben sich folgende Nuklidpaare: $4n$: Th-232 & Pb-208 $4n+1$: Np-237 & Tl-205 $4n+2$: U-238 & Pb-206 $4n+3$: U-235 & Pb-207. Damit entsteht das Lösungswort: SAMARIUM. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Zerfallsreihen" aufmerksam geworden sein.

Auf der zugehörigen Multiple-Choice-Frage findet sich folgender Text: „*Welche der vier natürlichen Zerfallsreihen existiert in der Natur nicht mehr?*“

- 4n 151
- 4n+1 148
- 4n+2 145
- 4n+3 146

Diese beiden Möglichkeiten der Unterstützung bieten die Hilfe-Karten:

- 1. Tipp: 4n = Thorium-Reihe, 4n+1 = Neptunium-Reihe, 4n+2 = Uran-Radium-Reihe, 4n+3 = Uran-Actinium-Reihe
- Auflösung: Die Neptunium-Reihe ist in der Natur nicht mehr vorhanden, da seit der Bildung der irdischen Materie bereits alles Np-237 (HWZ $2,1 \cdot 10^6$ a) zerfallen ist. Die richtige Lösung ist somit 4n+1 und die Zahl 148.

Das Lösungsnuklid Samarium-148 liefert den Spielenden die Lösungskarte „ $7 \cdot 10^{15}$ a“ und diese Anweisungen: „*Ihr habt es nach einigen Minuten in den engen Lüftungsschächten endlich wieder in einen größeren Raum geschafft. Auf dem Weg durch die Lüftungsschächte, habt Ihr eine Karte von Deutschland und die Rätselkarten A und R gefunden.*“ Durch das erfolgreiche Lösen dieses Rätsels, haben die Spielenden auch den zweiten Raum überwunden und können nun mit der Bearbeitung von Rätsel Nummer zehn im letzten Raum des Spiels beginnen.

4.6.10. Rätsel 10: Bindungsenergie des Atomkerns

Die Spielenden haben den letzten Raum ihrer Reise durch die alten Schachtanlagen der SDAG Wismut erreicht. Vor ihnen befindet sich bereits der Fahrstuhl, der sie an die Oberfläche befördern wird. Dieser ist jedoch in dem dunklen Raum noch nicht zu sehen. Zuerst müssen weitere Rätsel gelöst werden. Für das zehnte Rätsel benötigen die Spielenden die Rätsel-Karte „A“, auf welcher folgendes geschrieben steht: „*Kaum seid Ihr in dem neuen Raum angekommen, geht Eure Gaslampe aus und es ist stockdunkel.... Ihr holt schnell*

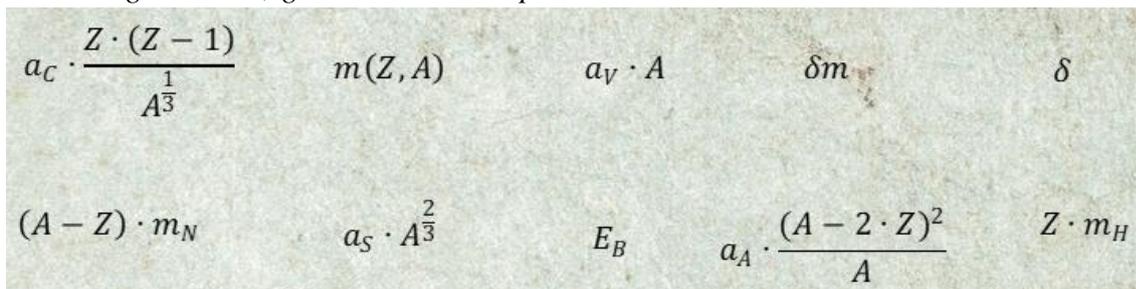


Abbildung 12: Vorderseite der Laborbuchseite 7

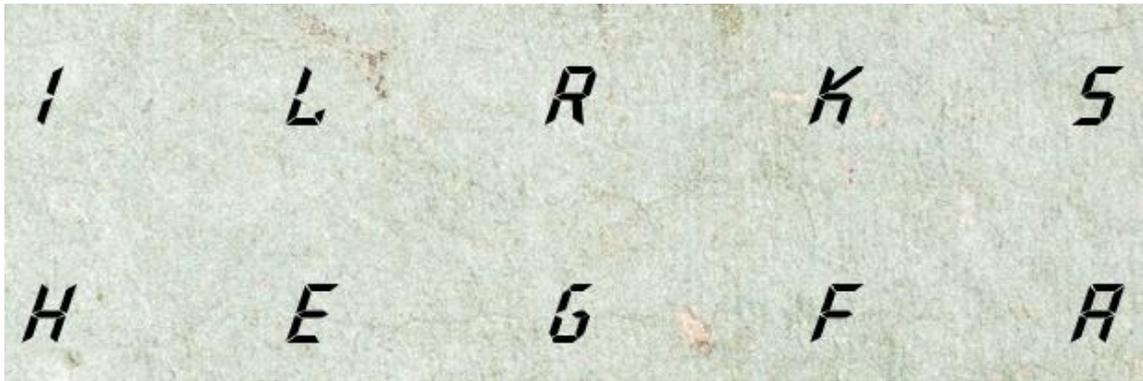


Abbildung 13: Rückseite der Laborbuchseite 7

Euer Handy raus und macht die Taschenlampe an. Während der Lichtstrahl durch den Raum schweift, blättert einer aus der Runde im Laborbuch weiter auf die siebte Seite. Dort finden sich Teile einer Formel.... Tipp: Wie in Klausuren, denkt IMMER an die Rückseite!“ Die Spielenden müssen nun die Teile der Formel auf der siebten Laborbuchseite (Abbildung 12 & 13) in der richtigen Reihenfolge anordnen, um ein Lösungswort zu erhalten. [Vgl. 4]

Folgende Hilfe-Karten stehen den Spielenden zur Wahl:

- 1. Tipp: Aus den gegebenen physikalischen Größen lassen sich zwei unterschiedliche Formeln bilden.
- 2. Tipp: Die Formel hat folgende Gestalt: $? = ? - ? - ? - ? + ?$
- Auflösung: Gesucht wurde Weizsäckers Massenformel, welche die Bindungsenergie von Atomkernen beschreibt.

$$E_B = a_V A - a_S A^{\frac{2}{3}} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{\frac{1}{3}}} - a_A \frac{(A-2Z)^2}{A} + \delta(N, Z)$$

Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Bindungsenergie des Atomkerns" aufmerksam geworden sein.

Die dazugehörige Multiple-Choice-Frage behandelt folgende Inhalte: „Entscheiden Sie, ob die Aussagen zutreffend sind oder nicht!“

- Der Massendefekt ist die Differenz der Massen der Konstituenten und Produktkerne. richtig: W falsch: I
- Der Massendefekt ist die Differenz zwischen dem Produkt aus A & u und der wirklichen Kernmasse. richtig: S falsch: A
- $E_B = A \cdot u \cdot c^2$ richtig: A falsch: L
- $E_B = \Delta m \cdot c^2$ richtig: D falsch: R

Die Hilfe-Karten liefern folgende Hinweise zur Lösung:

- 1. Tipp: Eine der Definitionen trifft auf den Massenüberschuss zu und eine der Formeln beschreibt eine sehr berühmte Bindungsenergie und die andere eben nicht.
- Auflösung: Es ergeben sich folgende Buchstaben: W, A, L, D

In diesem dritten und letzten Raum ergeben die Rätsel nun die Namen der deutschen Kernkraftwerksstandorte als Lösungs-Karten. Setzt man die Buchstaben, die erhalten wurden, richtig zusammen, so ergibt sich die Lösungs-Karte „Greifswald“: *„Ihr habt neue Gaslampen gefunden. Als Ihr den Raum erhellte habt, seht Ihr eine Fahrstuhlür. Du rennst auf die Tür zum Fahrstuhlschacht zu. So ein Mist, die ist verschlossen.... Enttäuscht geht Ihr durch den Raum zurück zu den Anderen. Dabei kommt Ihr an einem alten Messinstrument vorbei.... Eine grüne Linie flackert über den Bildschirm des Oszilloskops. Als Ihr euch den Aufbau genauer anschaut, entdeckt Ihr die Rätselkarten H & Q.“* Die Spielenden haben den rettenden Fahrstuhl erreicht, doch dieser ist verschlossen und muss durch die Lösung weiterer Rätsel geöffnet und aktiviert werden.

4.6.11. Rätsel 11: neutroneninduzierte Kernspaltung

Für dieses Rätsel werden die Rätsel-Karten „H, I, L & R“ benötigt. Auf Karte „L“ befindet sich folgender Text: *„Ihr habt bereits die Rätselkarten R, I & H gefunden. Das folgende Rätsel soll auf das Thema der Multiple-Choice-Frage hindeuten.“* Zu diesem Rätsel gibt es vorerst keinen klaren Arbeitsauftrag. Die Spielenden sollen selber herausfinden, dass mit den insgesamt vier Bildern auf den Rätsel-Karten der Ablauf der neutroneninduzierten Kernspaltung dargestellt wird und sie dementsprechend diese Multiple-Choice-Frage zu beantworten haben. Folgende Hinweise erhalten die Spielenden durch die Hilfe-Karten:

- 1. Tipp: Vielleicht hilft es Euch, eine gewisse Ordnung in die Bilder zu bringen. Im Moment ist es lediglich ein buntes Teilchenchaos....
- 2. Tipp: Grün, Orange, Gelb, Grau, nach was für einem Prozess sieht das aus? Wie macht man aus einer Kugel nur zwei?
- Auflösung: Dargestellt wird der Ablauf der neutroneninduzierten Kernspaltung. Ihr solltet daher auf die Multiple-Choice-Karte "Neutroneninduzierte Kernspaltung" aufmerksam geworden sein!

Die Multiple-Choice-Frage ist folgendermaßen strukturiert: „*Welche Aussagen über die neutroneninduzierte Kernspaltung sind nicht richtig?*“

- Für die Spaltung von U-235 benötigt man schnelle Neutronen. 8
- Pro gespaltenem U-235 Kern werden 200 MeV Energie frei. 3
- Kerne werden immer symmetrisch gespalten. 4
- In der Nuklidkarte sind die Spaltausbeuten für die Isobaren aufgetragen. 0
- Die bei der Spaltung entstehenden Neutronen müssen moderiert werden, um weitere Kerne zu spalten. 7

Die Hilfe-Karten unterstützen die Spielenden wie folgt:

- 1. Tipp: Achtet auf die Formulierung der Frage! Eine Antwort könnt ihr alle durch das vorherige Rätsel als falsch entlarven. Bleiben noch zwei weitere zu eliminieren...
- Auflösung: Die gesuchten Antworten sind 8 und 4.

Das Rätsel liefert die Lösungszahl zwölf. Schauen die Spielenden diese auf der bereits gefundenen Deutschlandkarte nach, so erhalten sie die Lösungs-Karte „Neckarwestheim“: „*Auf einmal blinkt eine rote Leuchte am Ende des Raumes auf! Das kann nichts Gutes heißen.... Als Ihr Euch das genauer anschaut, seht Ihr ein Geiger-Müller-Zählrohr, dass am Anschlag seiner Skala zittert. Dort liegt die Rätselkarte V und ein Bauhelm.*“ Das Spiel neigt sich allmählich dem Ende. Es fehlen nur noch drei weitere Rätsel, um die letzte Tür zu öffnen.

4.6.12. Rätsel 12: Uranium Fuel-Cycle Frontend

Für dieses Rätsel wird zum einen die Rätsel-Karte „V“ benötigt, allerdings auch der Bauhelm, in dem sich drei Bilder befinden sowie der bereits bekannte Brief aus Rätsel vier und die Deutschlandkarte. Auf Rätselkarte „V“ steht folgendes: „*Folgt Ihr geschickt dem Farbverlauf, dann gibts den Schlüssel und die Tür geht auf!*“ Unter dem Text ist auf der Karte eine hellblau gestrichelte Linie gezeichnet, die diagonal über die Karte läuft. Weiterhin sind zwei Reihen aus bunten Zahlen und Buchstaben auf der Karte zu finden. Die Spielenden sollen diese Spalten aus bunten Zahlen und Buchstaben auf allen oben genannten Materialien ausmachen und in die richtige Reihenfolge bringen, sodass sich der gesuchte hellblaue Farbverlauf einstellt. In genau dieser Farbe wird dann das Lösungswort „Grohnde“ erscheinen. Die grundlegende Idee dieses Logikrätsels stammt von den

Autoren Inka und Markus Brand, die dieses Rätsel für das Exit-Spiel „Die Katakomben des Grauens“ entwickelt haben. Ich habe dementsprechend die Materialien dem Lernziel und der Geschichte meines Spiels angepasst. [Vgl. 1] Dieses Logikrätsel zeichnet sich durch die Besonderheit aus, dass es als einziges eine Lösungskarte besitzt. Die Spielenden sollen eigentlich durch die drei Bilder auf das Thema der Multiple-Choice-Frage aufmerksam gemacht werden. Da diese aber zerschnitten werden müssen, um den Farbverlauf herstellen zu können, besteht die Gefahr, dass es den Spielenden nicht mehr möglich ist, die passende Frage ohne Hilfe-Karte zu finden. Deswegen besitzt dieses Logikrätsel die Lösungs-Karte „Grohnde“, um auf die weiterführende Frage hinzuweisen: *„Ihr hört einen lauten Knall! Einer aus eurer Truppe hat eine Holzkiste gegen die verschlossene Tür des Fahrstuhls geworfen, die mit einem lauten Knall in tausend Kleinteile zersplitterte. Ok, jetzt wird es ernst, die ersten von euch geraten endgültig in Panik.... Aber was ist das? In dem Trümmerhaufen liegt die Multiple-Choice-Fragenkarte "Uranium Fuel-Cycle Frontend".“*

Dennoch gibt es auch für dieses Rätsel Hilfe-Karten:

- 1. Tipp: Überall tauchen diese bunten Buchstaben und Ziffern auf. Eine der Farben scheint aber von besonderer Bedeutung zu sein!
- 2. Tipp: Die Rätselkarte "V" verrät Euch, dass Ihr dem diagonalen, hellblauen Farbverlauf folgen sollt. Dazu müsst Ihr diesen aber erst einmal herstellen....
- Auflösung: Insgesamt sind 7 dieser Farbcodes im Spiel versteckt gewesen. Legt Ihr diese in folgender Reihenfolge nebeneinander, ergibt sich das hellblaue Lösungswort: 1. Brief 2. Karte "V" links 3. Bild Yellow Cake 4. Deutschlandkarte 5. Bild Schachtaufzug 6. Bild Kegelhalden 7. Karte "V" rechts Lösungswort: GROHNDE. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Uranium Fuel-Cycle Frontend" aufmerksam geworden sein.

Die Multiple-Choice-Frage sieht wie folgt aus: „*Welche Aussagen über die Urangewinnung sind richtig?*“

- In einer Tonne Gestein sind im Schnitt 3g Uran enthalten. 6
- Die größten Uranreserven lagern in Kasachstan. 0
- Deutschland ist drittgrößter Uranproduzent weltweit. 9
- Bei gleichbleibendem Verbrauch reichen die weltweiten Uranreserven für weitere 100 Jahre. 2
- In den Minen wird Pechblende (Urandioxid) gefördert. Für die Weiterverarbeitung wird allerdings Yellow Cake (TriUranOctoOxid) benötigt. 5

Hier gibt es ebenfalls Hilfe-Karten zur Unterstützung:

- 1. Tipp: Die Antwort zur Zahl 9 war einmal richtig, ist aber mittlerweile nicht mehr zutreffend!
- Auflösung: Die richtigen Antworten sind 6, 2 und 5.

Die Lösungszahl 13 liefert den Spielenden die Lösungs-Karte „Biblis“: „*Vor der Tür zum Fahrstuhl steht eine große Box voller Kabel. Hoffentlich sind das nicht die Kabel für die Fahrstuhlsteuerung denkst Du insgeheim.... Bloß die anderen nichts merken lassen, die sind eh schon panisch genug! Du wühlst etwas in dem Kabelsalat und findest die Rätselkarten J und N. Komischerweise sind die beiden Karten mit einem Kabel verbunden. Du nimmst auch das Kabel mit, denn das wird sicherlich noch nützlich sein!*“ Die Spielenden haben auch dieses Rätsel erfolgreich gelöst und können mit dem vorletzten Rätsel dieses Raumes weitermachen.

4.6.13. Rätsel 13: Kernkraftwerk

Allmählich spitzt sich die Lage zu. Einige der Begleiter*innen geraten langsam in Panik und schmeißen Gegenstände durch den Raum. Die nächsten Rätsel sollten lieber zügig gelöst werden, bevor irgendjemand noch endgültig durchdreht. Daher werden von den Spielenden die Materialien für das nächste Rätsel bereitgelegt. Dies ist zum einen die letzte Seite des Laborbuchs (Abbildung 14) und die Rätsel-Karten „J & Q“. Auf Rätselkarte „Q“ sind viele Begriffe abgebildet, die in die Lücken der Skizze im Laborbuch eingesetzt werden sollen. Karte „J“ gibt nur eine kurze Anweisung: „*Um zu dem Lösungswort zu gelangen, benutzt nun die Rätselkarte Q und die achte Seite des Laborbuchs.*“ Das Lösungsverfahren ist den Spielenden bereits aus dem Rätsel sechs bekannt. Auch

hier geben die Zahlen in diesem Fall die Reihenfolge der Buchstaben im Lösungswort an, aber von hinten gezählt. Die Zahl -1 gibt also den letzten Buchstaben im Lösungswort an.

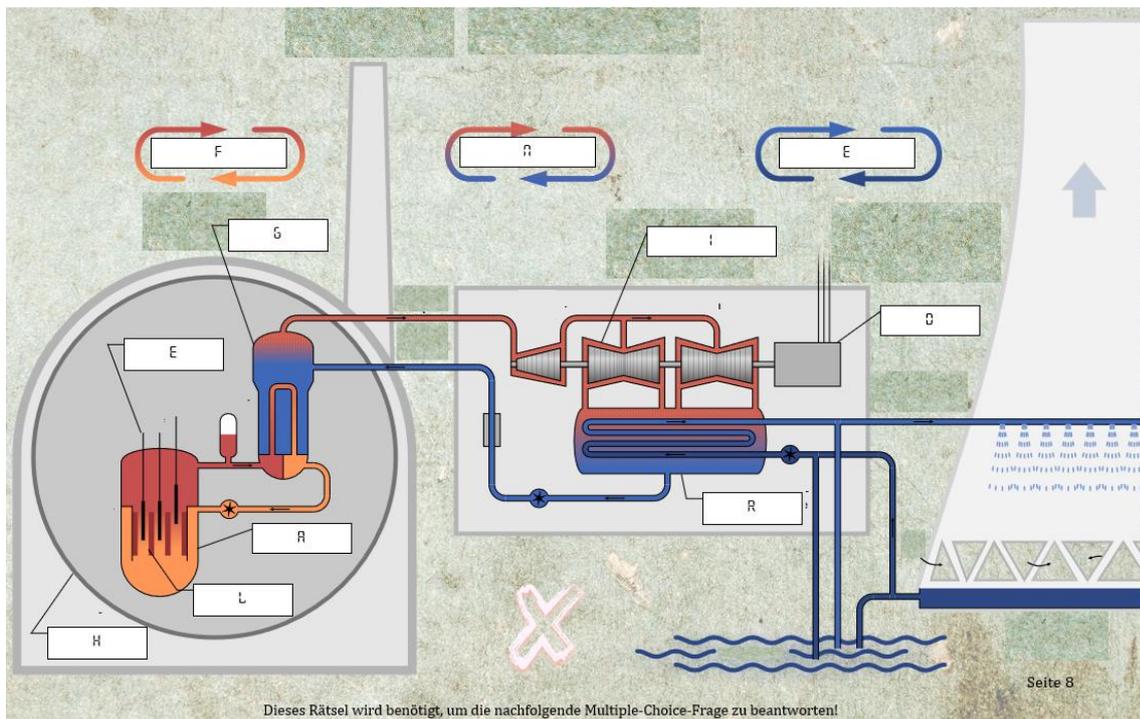


Abbildung 14: Laborbuchseite 8

Folgende Hilfe-Karten können von den Spielenden zur Unterstützung gewählt werden:

- 1. Tipp: Wieso stehen in den Lücken Buchstaben und hinter den Wörtern negative Zahlen?
- 2. Tipp: Bei dem abgebildeten Reaktor handelt es sich um einen Druckwasserreaktor, der sich durch ein nicht kontaminiertes Maschinenhaus auszeichnet! Stehen die negativen Zahlen vielleicht für eine Reihenfolge?
- Auflösung: F (-4); E (-3); E (-11); L (-2); N (-10); D (-1); G (-15); R (-9); H (-8); A (-13); I (-6). Die negativen Zahlen geben die Buchstabenreihenfolge im Lösungswort an, allerdings von hinten gezählt. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Kernkraftwerk" aufmerksam geworden sein.

Die Multiple-Choice-Frage liefert die fehlenden Buchstaben für das Lösungswort: „*Entscheidet, ob folgende Aussagen richtig sind!*“

- Druckwasserreaktor Arbeitspunkt: überkritisch bei 390 °C & 130 bar
richtig: U falsch: N
- Bis zu 30% der Leistung eines DWR stammen aus der Spaltung von Pu-239
richtig: R falsch: O
- $^{16}_8\text{O}(n,p)^{16}_7\text{N} \left(t_{\frac{1}{2}} = 7,1 \text{ s} \right) \rightarrow ^{16}_8\text{O} + e^- + \bar{\nu}_e \quad E_\gamma = 6,1 \text{ MeV}$
richtig: F falsch: T
- Das Multibarrierenprinzip stützt sich auf folgende Punkte: 1. Brennstoffpellets 2. gasdichte Brennstabhülle 3. Kühlsystem & Reaktordruckbehälter 4. Containment 5. Stahlbetongebäude
richtig: E falsch: W

Die Hilfe-Karten zu dieser Frage enthalten folgende Inhalte:

- 1. Tipp: Der kritische Punkt von Wasser liegt bei 374 °C und 218 bar.
- Auflösung: Es ergeben sich die Buchstaben: N, R, F und E.

Aus den Buchstaben ergibt sich die Lösungs-Karte „Grafenrheinfeld“: „*So langsam bekommt Ihr es mit der Angst zu tun und möchtet nur noch diesen heißen, feuchten und stickigen Schacht verlassen. Um gegen die steigende Panik anzukämpfen, atmet Ihr tief durch. Auf dem steinigen Boden vor Euch findet Ihr die Rätselkarte C und einen alten Metallstab.*“ Die Spielenden haben es bis fast ans Ziel geschafft, es fehlt nur noch ein weiteres Rätsel, um die Fahrstuhltür zu öffnen.

4.6.14. Rätsel 14: Uranium Fuel-Cycle Backend

Die Spielenden haben bereits einen Schlüsselstab gefunden, sowie die Rätsel-Karten „C & N“. Auf Rätselkarte „N“ ist der Schlüsselbart abgedruckt und auf Karte „C“ steht folgender Text: „*Einst gab es viele Kumpel, Gebieter über das Gerumpel. Doch mit der Zeit kam eine unsichtbare Macht und hat Sie nach und nach alle umgebracht! In der Mine ruht nun still der TOD. REST IN PEACE - Ein Endlager der Seelen, welch eine große Not. Leid und WEH sind hier geschehen, durch diese Tür müsst Ihr gehen. Der alte Schlüssel hilft dabei und gibt Euch aus der Mine frei! Ein Bart fehlt ihm dann aber noch, jetzt passt er auch ins Schlüsselloch...*“ Die Aufgabe der Spielenden ist es nun, den Schlüsselbart auszuschneiden und so in den Schlüsselstab einzuführen, dass sich die drei hervorgehobenen Wörter auf diesem einstellen. Eine Abbildung des Schlüssels befindet

sich im Anhang. Dann wird der Schlüssel drei Zahlen liefern, die zur Lösung beitragen. Dieses Rätsel wurde ursprünglich von Markus und Inka Brand für das Exit-Spiel „Die Katakomben des Grauens“ entwickelt. Ich habe mich in diesem Logikrätsel nach ihrer Idee gerichtet und es an die entsprechende Geschichte, den Handlungsverlauf und das Lernziel dieses Spiels angepasst. [Vgl. 1] Folgende Hilfe-Karten werden den Spielenden bei diesem Rätsel angeboten:

- 1. Tipp: Der Metallstab könnte ein unvollständiger Schlüssel sein, fehlt nur noch der Schlüsselbart.
- 2. Tipp: Ihr müsst den Bart aus der Rätselkarte "N" ausschneiden und an den schwarzen Linien knicken. Anschließend müsst Ihr die einzelnen Bestandteile des Schlüsselbarts in den Metallstab einführen. Achtet hierbei auf die großgeschriebenen HINWEISE auf Rätselkarte "C".
- Auflösung: Der Schlüssel liefert die Zahlen 3, 4 und 1. Außerdem solltet ihr auf die Multiple-Choice-Karte "Uranium Fuel-Cycle Backend" aufmerksam geworden sein!

Die letzte Multiple-Choice-Frage im gesamten Spiel hat folgende Struktur: „*Welche dieser Aussagen sind richtig?*“

- Bei der Transmutation werden langlebige Spaltprodukte mit Neutronen bestrahlt, um diese in stabile oder kurzlebige Kerne umzuwandeln. 7
- Beim Partitioning werden U & Pu von den Spaltprodukten abgetrennt, um aus diesen neue "Mischoxid" (MOX) Brennelemente zu fertigen. 5
- Das deutsche tiefengeologische Endlager für hochradioaktive Abfälle soll für 100 000 000 Jahre sicher sein 0
- Die IAEA unterscheidet zwischen wärmeentwickelnden Abfällen und Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. 3

Die letzten Hilfekarten für jene Multiple-Choice-Frage sind mit folgenden Hinweisen versehen:

- 1. Tipp: Die Antwortmöglichkeit zu der Zahl "0" ist falsch.
- Auflösung: Die richtigen Antworten sind 7 und 5.

Durch die Addition aller richtigen Zahlen erhält man die 20 und die Lösungs-Karte „Hamm-Uentrop“: *„Die Fahrstuhltür geht auf, Ihr habt es endlich geschafft! Ihr könnt das Ziel schon vor euch sehen. Der süße Duft der Freiheit lässt sich schon erahnen. Doch eine letzte große Hürde wartet noch auf Euch, damit Ihr sie gemeinsam überwinden könnt. Der Fahrstuhl fährt einfach nicht los, egal welche Knöpfe Ihr drückt. Ihr findet in dem Fahrstuhl die Rätselkarte F, vielleicht hilft Euch diese, den Fahrstuhl zum Laufen zu bekommen....“* Die Spielenden können endlich in den Fahrstuhl einsteigen, aber dieser ist anscheinend defekt, sodass noch ein weiteres Rätsel gelöst werden muss.

4.6.15. Rätsel 15: Rütters' liebste Radionuklide

Nachdem die Spielenden es endlich in den lang ersehnten Fahrstuhl geschafft haben, mussten sie mit Enttäuschung feststellen, dass dieser nicht fahrtüchtig ist. Dieses letzte Rätsel muss noch gelöst werden, bevor die Spielenden wieder das rettende Tageslicht sehen können. Hierzu werden die Platine (Abbildung 15) und die Rätsel-Karte „F“ benötigt, auf der folgendes steht: *„Ihr habt es geschafft! Ihr steht in dem Fahrstuhl, der euch hier rausführt! Aber er fährt ja nun mal NICHT.... Dann fällt Euch die Schalttafel auf. Was für ein CHAOS!!! Wenn Ihr die Kontakte in der richtigen Reihenfolge mit einem Kabel verbindet, sollte der Fahrstuhl losfahren.... K-40; HWZ; Sr-90; HWZ; I-131; HWZ; HWZ; Tc-99; HWZ; H-3; HWZ; Pu-239; HWZ; Co-60; HWZ; Am-241; Rn-222; HWZ; Ra-226; HWZ; HWZ; Th-232; Cs-137; HWZ; HWZ; C-14; U-235; HWZ; HWZ; U-238“* In dieser letzten Herausforderung müssen die Spielenden jedes Radionuklid mit der zu diesem passenden Halbwertszeit durch das Kabel auf der Platine verbinden. Wichtig ist hierbei aber auch, die angegebene Reihenfolge zu beachten, damit kein Kurzschluss entsteht und der Fahrstuhl gänzlich fahrtüchtig wird.

In diesem letzten Rätsel gibt es keine Multiple-Choice-Frage, sodass das Ergebnis des Logikrätsels in diesem Fall direkt auf die richtige Lösungs-Karte verweist. Haben die Spielenden alle Halbwertszeiten mit den passenden Radionukliden in der richtigen Reihenfolge verbunden, so ergibt sich das Wort „RAUF“ auf der Platine. Auf der passenden Lösungskarte steht dann Folgendes: *„Eure Verkabelung der Schaltkreise war erfolgreich und der Fahrstuhl setzt sich endlich in Bewegung! Das Rumpeln, Wackeln und die ächzende Mechanik des sich nach oben bewegenden Fahrstuhls wird Euch in Zukunft immer an das Gefühl von Freiheit erinnern. Als Ihr die Tür öffnet, begrüßt euch der Sonnenaufgang und Moment, was macht Herr Rüther hier? Er erklärt Euch, dass Ihr soeben unfreiwillig in den für Morgen geplanten Escape Room reingestolpert seid und es entgegen seinen Erwartungen von alleine wieder an die Oberfläche geschafft habt! Wertet nun Euer GMZ und die Stoppuhr aus, um zu schauen, wie gut Ihr euch geschlagen habt.“*

Die Spielenden haben es geschafft! Sie sind dem Schacht 371 erfolgreich entkommen. Im Anschluss soll nun noch das Spielergebnis ausgewertet werden, indem die Counts auf dem Geiger-Müller-Zählrohr und die benötigte Zeit in den Tabellen in der Anleitung nachgeschaut werden. Abschließend werden die Urkunden ausgefüllt und an alle Spielenden verteilt.

Tabelle 1: Punkteverteilung nach benötigter Zeit und gezählten MCts.

	< 10 MCts.	< 30 MCts.	< 50 MCts.	< 70 MCts.	> 70 MCts.
< 100 min.	10 Punkte	8 Punkte	7 Punkte	6 Punkte	5 Punkte
< 120 min.	9 Punkte	7 Punkte	6 Punkte	5 Punkte	4 Punkte
< 140 min.	8 Punkte	6 Punkte	5 Punkte	4 Punkte	3 Punkte
≤ 180 min.	7 Punkte	5 Punkte	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte
> 180 min.	6 Punkte	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte	1 Punkte

Tabelle 2: Bewertung der Spielleistung nach erreichten Punkten

1-3 Punkte	Ihr solltet euch dringend nochmal die Unterlagen zu den kernphysikalischen Grundlagen und der Radioaktivität intensiv anschauen. Ihr seid noch nicht gut genug auf die Prüfung vorbereitet.
4-6 Punkte	Ihr solltet die Unterlagen zu den kernphysikalischen Grundlagen und der Radioaktivität nochmal sorgfältig lesen. Ihr würdet die Prüfung vermutlich gerade so bestehen, aber sicher ist sicher!
7-8 Punkte	Ihr habt eine solide Leistung dargeboten. Für die Prüfung seid ihr gut vorbereitet. Dennoch solltet Ihr euch noch einmal einige Aspekte genauer anschauen.
9-10 Punkte	Ihr habt eine hervorragende Leistung gezeigt und habt bewiesen, dass ihr die Inhalte zu den Grundlagen der Kernphysik und der Radioaktivität bestens beherrscht. Ihr habt euch die Urkunde wirklich verdient!

4.6.16. Lösungsoptionen der Rätsel

Jedes einzelne Rätsel ist so konzipiert, dass die Spielenden, sofern sie einen Fehler bei der Lösung machen, auf eine Vielzahl falscher Lösungs-Karten stoßen können. Auf diesen Karten ist dann folgender Text zu finden: *„Das war die falsche Antwort! Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts. Versucht es erneut.“* Die Rätsel können insgesamt auf 16 richtige, oder 82 falsche Lösungs-Karten verweisen. Da jeder Raum des Spiels ein eigenes Verschlüsselungssystem hat, gibt es sowohl Lösungs-Karten, auf denen die Namen bestimmter Elemente, als auch Halbwertszeiten oder die Standorte der deutschen Kernkraftwerke stehen. Da oftmals mehrere Teillösungen addiert oder kombiniert werden müssen, ist in der nachfolgenden tabellarischen Auflistung hinter jeder potentiellen Lösung das Zwischenergebnis, in Form von Kernladungszahlen, Massenzahlen oder einfachen Zahlwerten in Klammern aufgeführt.

Tabelle 3: Zuordnung der Lösungsoptionen zu den einzelnen Rätseln

Rätsel	Richtige Lösungsoption	Falsche Lösungsoptionen
1	Americium (Z = 95)	Protactinium (Z = 91), Uran (Z = 92), Neptunium (Z = 93), Plutonium (Z = 94), Curium (Z = 96), Berkelium (Z = 97), Californium (Z = 98), Einsteinium (Z = 99), Mendeleevium (Z = 101), Nobelium (Z = 102)
2	Francium (Z = 87)	Iod (Z = 53), Xenon (Z = 54), Caesium (Z = 55), Barium (Z = 56), Lanthan (Z = 57), Praseodym (Z = 59), Neodym (Z = 60), Promethium (Z = 61), Dysprosium (Z = 66), Holmium (Z = 67), Erbium (Z = 68), Thulium (Z = 69), Ytterbium (Z = 70), Lutetium (Z = 71), Hafnium (Z = 72), Tantal (Z = 73), Wolfram (Z = 74), Rhenium (Z = 75), Quecksilber (Z = 80), Thallium (Z = 81), Blei (Z = 82), Astat (Z = 85), Radon (Z = 86), Radium (Z = 88), Californium (Z = 98), Einsteinium (Z = 99), Fermium (Z = 100)
3	Europium (Z = 63)	Natrium (Z = 11), Indium (Z = 49), Scandium (Z = 21), Rhodium (Z = 45), Iridium (Z = 77), Rubidium (Z = 37)
4	Bismut (Z = 83)	Strontium (Z = 38), Xenon (Z = 54), Promethium (Z = 61), Samarium (Z = 62), Rhenium (Z = 75), Blei (Z = 82), Californium (Z = 98), Einsteinium (Z = 99), Seaborgium (Z = 106)
5	Gadolinium (Z = 64)	In diesem Worträtsel werden lediglich die Buchstaben geliefert, die das korrekte Lösungswort ergeben.
6	9,96 m (N-13)	Stabil (N-14), 4,173 s (N-17), 130 ms (N-20), 82,9 ms (N-21), 20 ms (N-22), 11 ms (N-12), 8,58 ms (O-13), 70,619 s (O-14), 13,5 s (O-20), 3,4 s (O-21), 2,25 s (O-22)
7	$2,3 \cdot 10^6$ a (Cs-135)	103 ms (In-135), 1,5 s (Eu-135)

8	6,15 h (Ac-228)	65 s (Rd-228), 61,4 s (Np-228)
9	$7,5 \cdot 10^{10}$ a (Sm-148)	96.6 a (Sm-151), 340 d (Sm-145), $6,8 \cdot 10^7$ a (Sm-146)
10	Greifswald (2)	Isar (7), Kahl (3)
11	Neckarwestheim (12)	Brunsbüttel (4), Emsland (8), Kahl (3), Isar (7), Krümmel (11), Würgassen (10), Niederaichbach (14), Stade (15), Mülheim-Kärlich (18), Gundremmingen (22), Brokdorf (19)
12	Grohnde (24), Biblis (13)	Jülich (5), Unterweser (6), Isar (7), Emsland (8), Obrigheim (9), Krümmel (11), Niederaichbach (14), Stade (15), Karlsruhe (16), Rheinsberg (17), Gundremmingen (22)
13	Grafenrheinfeld (25)	In diesem Worträtsel werden lediglich die Buchstaben geliefert, die das korrekte Lösungswort ergeben.
14	Hamm-Uentrop (20)	Emsland (8), Krümmel (11), Stade (15), Karlsruhe (16), Mülheim-Kärlich (18), Grosswelzheim (23)
15	RAUF	In diesem Worträtsel werden lediglich die Buchstaben geliefert, die das korrekte Lösungswort ergeben.

5. Handreichungen für die Lehrkraft

5.1. Einbettung des Spiels in die Unterrichtseinheit

Im Land Niedersachsen befindet sich der Themenkomplex Atom- und Kernphysik ganz am Ende der Unterrichtszeit in der Sekundarstufe II. Genauer gesagt ist diese Unterrichtseinheit für das zweite Semester im dreizehnten Schuljahr geplant. Erfahrungsgemäß fällt dieses vierte und letzte Semester der Qualifikationsphase recht kurz aus. In den letzten Jahren betrug die Dauer dieses Semesters zwischen acht und zehn Wochen. Diese kurze Zeitspanne stellt nicht nur die Lehrer*innen, sondern auch die Schüler*innen vor große Herausforderungen. Aus genau diesem Grund habe ich das Exit-Spiel entwickelt, um sowohl die Lehrer*innen in der Planung der Unterrichtseinheit als auch die Schüler*innen in den finalen Wochen ihres Lernprozesses zu unterstützen. Das Spiel ist als Abschluss der Unterrichtseinheit zur Kernphysik geplant, damit die Schüler*innen das erlernte Wissen nicht nur wiederholen, sondern auch anwenden, vernetzen und transferieren können. Es ist daher unbedingt notwendig, dass die Unterrichtseinheit bereits abgeschlossen und alle Inhalte aus Kapitel 5.2. abgehandelt worden sind. Sollte dies nicht der Fall sein, könnte es während der Bearbeitung einiger Rätsel zu Problemen auf Seiten der Spielenden kommen. Neben dem Zweck der Wiederholung hat das Spiel auch die Funktion, der Überprüfung des Lernfortschritts der Schüler*innen. Je nach Spielergebnis, unter anderem auch schon während des Spiels, wird den spielenden Schüler*innen bewusst werden, ob sie die behandelten und abiturrelevanten Inhalte ausreichend beherrschen oder ob sie in den letzten Wochen der Abiturvorbereitung noch Inhalte nacharbeiten müssen. Aus genau diesen Gründen ist das Spiel nur nach der abgeschlossenen Unterrichtseinheit einsetzbar und daher leider nicht so flexibel nutzbar, wie andere für den Physikunterricht konzipierte Spiele.

5.2. Im vorangegangenen Unterricht behandelte Inhalte

Der Kerngedanke des Exit-Spiels ist es, eine Methode zur Wiederholung und Vernetzung von erlerntem Wissen darzustellen. Damit das Spiel diesem Zweck gerecht werden kann, müssen die zu wiederholenden Inhalte im vorangegangenen Unterricht auch behandelt worden sein. Die Grundlagen des Spiels sind deckungsgleich zu den inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen des niedersächsischen Kerncurriculums. Jedoch ist es je nach Schule und Lehrkraft durch die schulinternen Curricula möglich, dass einige Aspekte stärker und andere weniger ausführlich im Unterricht behandelt werden. Um diesem Prozess entgegen zu wirken, habe ich eine stichwortartige Zusammenfassung der wichtigsten

Inhalte nachfolgend dargestellt. Eine ausführlichere Darstellung der im Spiel abgehandelten Themenfelder stellt diesbezüglich das Kapitel drei dar. In diesem wird in die wichtigsten physikalischen Grundlagen eingeführt und auf diverse Schulbücher und Fachliteratur verwiesen.

Tabelle 4: Inhaltliche Spielvoraussetzungen

Rätsel	Wichtige Begrifflichkeiten
Nomenklatur von Atomkernen	Proton, Neutron, Nukleon, Massenzahl, Kernladungszahl, Iso-bar, Isomer, Isoton, Isodiapher, Isotop
Alpha-Strahlung	Bragg-Peak, Heliumkern, Abschirmung durch Papier, Reichweite in Luft, typische Energie, Zerfallsgleichung
Beta-Strahlung	Unterscheidung & Zerfallsgleichung für Electron Capture, Beta-Minus, Beta-Plus-Zerfall, Kontinuierliches Energiespektrum und Neutrino, Abschirmung durch Alu/Plexiglas, Reichweite in Luft, typische Energie
Gamma-Strahlung	Photon, Energieabgabe nach Kernzerfall, Reichweite in Luft, Abschirmung
Nuklidkarte	Farbgebung der unterschiedlichen Zerfälle, Unterschied stabile und primordiale Nuklide, Nuklide mit mehreren Zerfallsarten (welcher tritt häufiger auf, Bsp. K-40)
Detektion ionisierender Strahlung	Aufbau und Funktionsweise von Geiger-Müller-Zählrohren (Totzeit, Arbeitsspannung), Aufbau und Funktionsweise von Halbleiterdetektoren
Strahlungswechselwirkung mit Materie	Photo-Effekt, Compton-Effekt, Paarbildung, Bremsstrahlung (Abschirmung als sekundäre Strahlungsquelle)
Radioaktiver Zerfall	Zerfallsgleichung, Halbwertszeit, Zerfallskonstante, Umgang mit Formeln, Durchführung einfacher Berechnungen
Zerfallsreihen	Kenntnis aller vier natürlichen Zerfallsreihen, 4n-Schema
Bindungsenergie des Atomkerns	Tröpfchenmodell, Weizsäcker Massenformel, Massendefekt, Massenüberschuss

Neutroneninduzierte Kernspaltung	Zeitlicher Ablauf, thermische & schnelle Neutronen (welche können was spalten, Stichwort Moderation), Energiegewinn aus U-235 Spaltung
Uranium Fuel-Cycle Frontend	Yellow-Cake, Pechblende, SDAG Wismut und Uranproduktion in Deutschland
Kernkraftwerk	Aufbau und Funktionsweise westlicher Druckwasserreaktoren, Multibarrierenprinzip, Pu-239 Spaltung
Uranium Fuel-Cycle Backend	Endlagerung in Deutschland, Partitionierung, Transmutation
Rüthers' liebste Radionuklide	Kenntnis wichtiger Radionuklide und deren Halbwertszeiten, <u>alternativ</u> : sicherer und schneller Umgang mit der Nuklidkarte, um passende Halbwertszeiten zu Radionukliden zügig zu finden

5.3. Zeitlicher Umfang des Spiels

Konzipiert wurde das Spiel für eine Unterrichtsdoppelstunde von 90 Minuten. In der Erprobungsphase hat sich allerdings recht schnell herauskristallisiert, dass die Spielenden einen Bereich von 120-180 Minuten Spielzeit benötigen. Es darf aber nicht vernachlässigt werden, dass es sich bei den Proband*innen um besonders motivierte und erfahrene Spielende von Exit-Spielen handelte. Diese haben versucht, das Spiel möglichst ohne oder wenn dann nur mit sehr wenigen Hilfe-Karten zu beenden. Diese Taktik hat die Spielzeit in allen Fällen sehr in die Länge gezogen. Vermutlich werden Schüler*innen dieses Verhalten nur sehr bedingt an den Tag legen, sodass sich ihre Spielzeit immens reduzieren wird und viel näher an den gewünschten 90 Minuten liegen wird. Weiterhin ist das Wissen der Schüler*innen noch viel präsenter als besagten Proband*innen. Auch diese Tatsache wird die Spielzeit weiter verkürzen. Dennoch ist es nicht auszuschließen, dass eine Doppelstunde für die Bearbeitung des Spiels nicht ausreicht. Hierfür wurde das Spiel in drei einzelne Räume und ein finales Rätsel unterteilt, um Spielunterbrechungen gewährleisten zu können. Sollte es absehbar sein, dass das Spiel in einer Doppelstunde nicht zu Ende gespielt werden kann, können die Lehrer*innen es nach dem erfolgreichen Verlassen eines jeden Raumes unterbrechen und zu gegebener Zeit fortsetzen. Diese Zerlegung ermöglicht es, das Spiel flexibel im Unterricht einzusetzen, ganz unabhängig von der Art des Kurses (Kurse auf erhöhtem und grundlegendem Anforderungsniveau unterscheiden

sich in Niedersachsen in zwei Semesterwochenstunden) und der Bearbeitungsgeschwindigkeit der Schüler*innen.

5.4. Erneute Verwendung des Spiels und Nachproduktion des Materials

Exit-Spiele zeichnen sich durch die nur einmalige Verwendbarkeit aus, da nach dem Spiel nicht nur alle Rätsel und deren Lösungen den Spielenden bekannt sind, sondern oftmals auch viele Spielmaterialien bis auf ihre Unkenntlichkeit hin bearbeitet wurden. Auch dieses Spiel weist beide Merkmale auf, jedoch wird zumindest ein Problem, welches daraus resultiert, durch das System Schule wieder ausgeglichen. Die Lösungen sind den Spielenden auch in diesem Spiel nach einmaligem Benutzen bekannt, allerdings kommt es der Lehrkraft zu Gute, dass jedes Jahr ein oder mehrere weitere Kurse von Schüler*innen in den dreizehnten Jahrgang kommen und somit eine neue potentielle Gruppe von Spielenden gefunden wurde. Dies hat zum Vorteil, dass die Lehrer*innen das Spiel jedes Jahr aufs Neue benutzen können und es nicht nach einmaligem Benutzen weggeschmissen werden muss. Die Nachproduktion von Materialien ist jedoch auch in diesem Spiel nicht zu vermeiden. Jedoch habe ich versucht, die Menge an nachzuproduzierendem Material auf ein Minimum zu reduzieren. Nachfolgend findet sich eine Liste allen Materials, dass für eine erneute Nutzung nachproduziert werden muss. Alles nicht aufgelistete Material kann ohne weitere Bearbeitung erneut verwendet werden.

Tabelle 5: Nachproduktion des Spielmaterials

Kategorie	Nachzuproduzierendes Material
Rätsel-Karten	Karten N & V Weiterhin kann es sein, dass die Spielenden auch andere Karten zerschnitten, gefaltet oder beschriftet haben, sodass diese ebenfalls nachproduziert werden müssen.
Laborbuch	Das komplette Laborbuch muss in der Regel nachproduziert werden. Sollten einige Seiten nicht bearbeitet worden sein, so können diese selbstverständlich erneut verwendet werden.
Sonstiges Material	Der Brief, die Deutschlandkarte und die drei Bilder müssen nachproduziert werden, sofern die bunten Farbcodes ausgeschnitten worden sind. Sind diese nicht zerschnitten worden, kann auch dieses Material erneut verwendet werden.

6. Reflexion und Ausblick

Das erklärte Ziel dieser Arbeit war es, ein didaktisches Instrument zur Wiederholung von Lehrinhalten zur Radioaktivität zu gestalten, welches im Unterricht der Sekundarstufe II eingesetzt werden kann. Das Ergebnis wurde ausführlich im Kapitel vier dieser Arbeit beschrieben. Ebenfalls wurde im zweiten Kapitel begründet, wieso es sinnvoll ist, dieses Exit-Spiel im Unterricht einzusetzen und worin die Vorteile des spielenden Lernprozesses begründet liegen. Den Schüler*innen wird durch den Einsatz von Exit-Spielen im Unterricht ein Methodenwerkzeug an die Hand gegeben, mit welchem sie selbst in der Lage sind, beiläufig und in Kooperation mit anderen ihren Lernprozess voranzutreiben. Dies geschieht, indem sie komplexe Problemstellungen durch den Transfer und die Weiterentwicklung ihres vorhandenen Wissens, erfolgreich lösen. Eine besondere Rolle in diesem Lernprozess wird von den Lehrer*innen übernommen, die in den sogenannten „Spielstunden“ aus ihrer gewohnten Rolle in die einer beobachtenden Person schlüpfen, die lediglich die Vorarbeit für ein gelingendes spielerisches Lernen zu leisten hat. Diese besondere Rolle bedeutet für die Lehrer*innen oftmals einen großen Arbeitsaufwand, der durch das dritte und fünfte Kapitel versucht wird, so gering wie möglich zu halten, indem den Lehrer*innen zusätzliche Informationen und zusätzliches Material an die Hand gegeben werden. In einer nachfolgenden Arbeit werden, zusätzlich zu diesen Handreichungen für die Lehrkraft, Unterrichtsmaterialien zu Themenfeldern entwickelt, die in dem Exit-Spiel behandelt werden, allerdings nur selten im Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe zu finden sind. Hierzu zählen der Uran-Brennstoffkreislauf, sowie das Tröpfchenmodell. Die Theorie von Jean Piaget bestätigt die Positionierung des Spiels als Wiederholung am Ende der Unterrichtseinheit, da die Schüler*innen ihr bereits bestehendes Wissen in dem Spiel anwenden und dieses dadurch gefestigt wird. Weiterhin stellt das Spiel einen angenehmen Abschluss der Unterrichtseinheit und einen entspannten Ausklang der gymnasialen Oberstufe dar, da das Themengebiet Kernphysik in Niedersachsen erfahrungsgemäß am Ende des letzten Semesters der dreizehnten Klasse, also kurz vor Beginn der Abiturprüfungen, liegt. Aus meiner eigenen Schulzeit ist mir durchaus bekannt, dass diese letzten Unterrichtsstunden nur in den seltensten Fällen zur Wiederholung des Unterrichtsstoffs genutzt werden. Das Exit-Spiel hingegen vereint die für Schüler*innen angenehme, unterrichtsferne Atmosphäre mit einem konkreten Lerneffekt. Daher erachte ich es als gelungene Alternative zu den sonst vorherrschenden Praktiken, die zum Ende eines Schuljahres die Mehrheit der Unterrichtsstunden prägen.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, dass alle Stellen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommen wurden, als solche kenntlich gemacht und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt worden ist.

Hannover, den 13.07.2020



Onno Maximilian Rüther

Literaturverzeichnis

- [1] Inka und Markus Brand. *Exit - Das Spiel; Die Katakomben des Grauens*. Kosmos-Verlag. 2018
- [2] Inka und Markus Brand. *Exit - Das Spiel; Die Känguru-Eskapaden*. Kosmos-Verlag. 2019..
- [3] Inka und Markus Brand. *Exit - Das Spiel; Die Station im ewigen Eis*. Kosmos-Verlag. 2017.
- [4] Dennis Raulin. *Entwicklung eines didaktischen Instruments zur Vermittlung dosimetrischer Begriffe im Strahlenschutz*. Bachelorarbeit Physik. Leibniz Universität Hannover. Hannover 2019.
- [5] Ernst Kircher, Raimund Girwidz und Peter Häußler. *Physikdidaktik Theorie und Praxis*. 3. Auflage. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg 2015.
- [6] Silke Mikelkis-Seifert, Thorid Rabe (Hrsg.). *Physik Methodik Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. Cornelsen Scriptor Verlag. Berlin 2010.
- [7] Hilbert Meyer. *Unterrichtsmethoden II – Praxisband*. 16. Auflage. Cornelsen Verlag. Berlin 2020.
- [8] Julia Mareike Neles, Christoph Pistner (Hrsg.). *Kernenergie Eine Technik für die Zukunft?*. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg 2012.
- [9] Albert Ziegler, Hans-Josef Allelein (Hrsg.). *Reaktortechnik physikalisch-technische Grundlagen*. 2. Auflage. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg 2013.
- [10] Christian Streffer et al. *Radioactive Waste Technical and Normative Aspects of its Disposal*. Springer-Verlag. Berlin/Heidelberg 2011.
- [11] Theo Mayer-Kuckuk. *Kernphysik Eine Einführung*. 7. Auflage. Teubner Verlag. Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden 2002.
- [12] Hanno Krieger. *Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes*. 6. Auflage. Springer Verlag. Berlin 2019.
- [13] Joseph Magill, Raymond Dreher, Zsolt Sóti. *Karlsruher Nuklidkarte*. 10. Auflage. Nucleonica GmbH, Karlsruhe 2018.
- [14] Joachim Grehn, Joachim Krause (Hrsg.). *Metzler Physik*. 5. Auflage. Schroedel Verlag. Hannover 2002.
- [15] Verena Auer. *Spielen im Physikunterricht*. in: Delta Phi B. 2015. [online] http://www.physikdidaktik.info/index.php/Delta_Phi_B_2015 [29.06.2020].

- [16] Hendrik Härtig. *Im Physikunterricht Spielen! Charakteristika von Spielen und Chancen für den Physikunterricht.* in: Unterricht Physik. Jg. 2015. Nr. 149. S. 2-5.
- [17] Jochen Kuhn, Andreas Müller, Wieland Müller, Patrik Vogt. „*Zeitungsaufgaben*“ und anderen authentische Problemstellungen Impulse für die Aufgabenkultur aus der physikdidaktischen Forschung. in: Unterricht Physik. Jg. 2011. Nr. 121. S. 4-10.
- [18] Rita Wodzinski. *Kooperatives Lernen: mehr als nur Gruppenarbeit Gründe für kooperatives Arbeiten im Physikunterricht.* in: Unterricht Physik. Jg. 2004. Nr. 84. S. 4-7.
- [19] Ralph Hepp, Kirsten Mische. *Kooperatives Lernen trainieren Hinweise und Empfehlungen für den Einstieg in kooperative Lernformen.* in: Unterricht Physik. Jg. 2004. Nr. 84. S. 8-13.
- [20] Michaela Grubbauer. *Spielen als pädagogische Maßnahme Präventive, spielorientierte Förderung und Stärkung elterlicher Kompetenz.* VS Verlag für Sozialwissenschaften. Wiesbaden 2011.
- [21] Ulrike Kipman. *Problemlösen Begriff-Strategien-Einflussgrößen-Unterricht-(häusliche) Förderung.* 2. Auflage. Springer-Verlag. Wiesbaden 2020.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lösung zur Laborbuchseite 1	25
Abbildung 2: Laborbuchseite 1.....	26
Abbildung 3: Laborbuchseite 2.....	27
Abbildung 4: Laborbuchseite 3.....	29
Abbildung 5: Abbildung auf der Rätsel-Karte "S"	31
Abbildung 6: Abbildung auf der Vorderseite des Briefs	32
Abbildung 7: Abbildung auf der Rückseite des Briefs	32
Abbildung 8: Laborbuchseite 5.....	34
Abbildung 9: Abbildung 1 auf MCF-Karte 7	36
Abbildung 10: Abbildung 2 auf MCF-Karte 7	36
Abbildung 11: Laborbuchseite 6.....	39
Abbildung 12: Vorderseite der Laborbuchseite 7.....	40
Abbildung 13: Rückseite der Laborbuchseite 7.....	41
Abbildung 14: Laborbuchseite 8.....	46
Abbildung 15: Platine für Rätsel 15	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Punkteverteilung nach benötigter Zeit und gezählten MCts.	51
Tabelle 2: Bewertung der Spielleistung nach erreichten Punkten.....	52
Tabelle 3: Zuordnung der Lösungsoptionen zu den einzelnen Rätseln.....	53
Tabelle 4: Inhaltliche Spielvoraussetzungen	56
Tabelle 5: Nachproduktion des Spielmaterials.....	58

Anhang

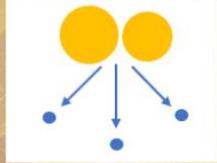
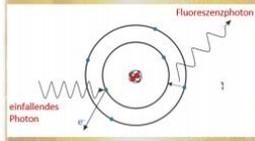
Spielkarten

<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>A</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>B</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>C</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>D</p>												
<p>Kaum seid Ihr in dem neuen Raum angekommen geht Eure Gaslampe aus und es ist stockdunkel....</p> <p>Ihr holt schnell Euer Handy raus und macht die Taschenlampe an. Während der Lichtstrahl durch den Raum schweift, blättert einer aus der Runde im Laborbuch weiter auf die siebte Seite.</p> <p>Dort finden sich Teile einer Formel....</p> <p>Tipp: Wie in Klausuren, denkt IMMER an die Rückseite!</p>	<p>Ihr schaut Euch etwas im Raum um. Als Ihr Eure Panik allmählich in den Griff bekommt findet Ihr einen alten Schreibtisch.</p> <p>Auf besagtem Schreibtisch herrscht heillooses Chaos, aber Ihr findet ein Periodensystem.... Vielleicht hilft es Euch?!</p> <p>Moment mal was ist das? Auf einem der Bücher steht "Laborbuch" Ihr schlagt die erste Seite auf....</p> <p>Tipp: Denkt daran, das Euch das Rätsel einen Hinweis auf eine weiterführende Frage gibt!</p>	<p>Einst gab es viele Kumpel, Gebieter über das Gerumpel. Doch mit der Zeit kam eine unsichtbare Macht und hat Sie nach und nach alle umgebracht! In der Mine ruht nun still der TOD.</p> <p>REST IN PEACE - Ein ENDLAGER der Seelen, welch eine große Not. Leid und WEH sind hier geschehen, durch diese Tür müsst Ihr gehen. Der alte Schlüssel hilft dabei und gibt Euch aus der Mine frei! Ein Bart fehlt ihm dann aber noch, jetzt passt er auch ins Schlüsselloch...</p>	<p>βητα - weist Euch den Weg zum Element!</p> <table border="1"> <tr> <td>#</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>VI Ηελυμ</td> <td>VIII Λιθυμ</td> </tr> <tr> <td>⊥</td> <td>!</td> </tr> <tr> <td>CCXXVII Ακτινωμ</td> <td>XXXVII Χλορ</td> </tr> <tr> <td>⊕</td> <td>π</td> </tr> <tr> <td>XCIX Τεχνηθιμ</td> <td>CL I Προμηθιμ</td> </tr> </table>	#	0	VI Ηελυμ	VIII Λιθυμ	⊥	!	CCXXVII Ακτινωμ	XXXVII Χλορ	⊕	π	XCIX Τεχνηθιμ	CL I Προμηθιμ
#	0														
VI Ηελυμ	VIII Λιθυμ														
⊥	!														
CCXXVII Ακτινωμ	XXXVII Χλορ														
⊕	π														
XCIX Τεχνηθιμ	CL I Προμηθιμ														

Rätsel-Karten

<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>G</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>E</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>F</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>H</p>
<p>Ihr seid so erleichtert, dass Ihr das erste Rätsel gelöst habt, dass Ihr gleich weiter machen wollt!</p> <p>Schaut Euch nun die zweite Seite im Laborbuch an.</p> <p>Welche dieser drei Grafiken stellt den Bragg-Peak dar?</p> 	<p>Die ersten drei Ziffern des Ergebnisses verraten euch die gesuchte Isobare.</p> <p>$t = 2\text{ s}$</p> <p>$t_1 = 1\text{ s}$</p> <p>$N(t) = 57$</p> 	<p>Ihr habt es geschafft! Ihr steht in dem Fahrstuhl, der euch hier rausführt!</p> <p>Aber er fährt ja nunmal NICHT... Dann fällt Euch die Schalttafel auf. Was für ein CHAOS!!!</p> <p>Wenn Ihr die Kontakte in der richtigen Reihenfolge mit einem Kabel verbindet, sollte der Fahrstuhl losfahren....</p> <p>K-40; HWZ; Sr-90; HWZ; I-131; HWZ; HWZ; Tc-99; HWZ; H-3; HWZ; Pu-239; HWZ; Co-60; HWZ; Am-241; Rn-222; HWZ; Ra-226; HWZ; HWZ; Th-232; Cs-137; HWZ; HWZ; C-14; U-235; HWZ; HWZ; U-238</p>	 

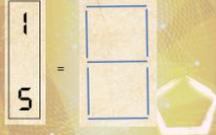
Rätsel-Karten

<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>I</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>J</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>K</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>L</p>
 	<p>Um zu dem Lösungswort zu gelangen, benutzt nun die Rätselkarte Q und die achte Seite des Laborbuchs.</p> 	 	<p>Ihr habt bereits die Rätselkarten R, I & H gefunden. Das folgende Rätsel soll auf das Thema der Multiple-Choice-Frage hindeuten:</p>  

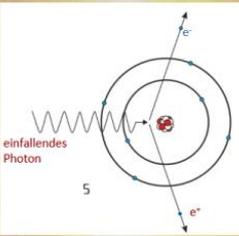
Rätsel-Karten

<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>M</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>N</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>O</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>P</p>																									
<p>Der neue Raum den Ihr betreten habt, wird spärlich durch eine alte Gaslampe beleuchtet.</p> <p>Ihr könnt kaum etwas sehen, also schaut Ihr Euch gemeinsam die fünfte Seite des Laborbuchs an!</p> <p>Auf Rätselkarte Z habt Ihr viele Begriffe gefunden, die wohl in besagte Grafik gehören....</p> <p>In diesem Raum sind nun die Halbwertszeiten spezieller Nuklide von Bedeutung für Eure erfolgreiche Flucht!</p> 	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>0</td></tr> </table> 	1	2	3	4	5	5	7	8	9	0	5	7	8	9	0	5	7	8	9	0	5	7	8	9	0	<p>Ihr habt einen kleinen Lüftungsschacht gefunden. Dieser ist aber mit einem Zahlenschloss gesichert. Fünf Zahlen sollen eingegeben werden....</p> <p>Ihr wisst nicht weiter und schaut in Euer Laborbuch und schlägt die sechste Seite auf.</p> <p>Vielleicht hilft Euch das Rätsel, sowie die Rätselkarte "U" die richtige Zahlenkombination zu finden....</p> 	<p>Nachdem Ihr die ersten beiden Rätsel so erfolgreich gelöst habt, seid Ihr zuversichtlich, hier bald rauszukommen und blättert im Laborbuch eine Seite weiter!</p> <p>Vielleicht steht dort ja wie Ihr hier wieder rauskommt...</p> <p>Aber als Ihr die dritte Seite im Laborbuch seht fragt ihr euch was euch dieses Chaos nur sagen soll.</p> 
1	2	3	4	5																								
5	7	8	9	0																								
5	7	8	9	0																								
5	7	8	9	0																								
5	7	8	9	0																								

Rätsel-Karten

<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>Q</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>R</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>S</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>T</p>															
<table border="1"> <tr><td>REAKTORDRUCKBEHÄLTER [-13]</td></tr> <tr><td>STEUERSTAB [-11]</td></tr> <tr><td>PRIMÄRKREISLAUF [-4]</td></tr> <tr><td>BRENNELEMENT [-2]</td></tr> <tr><td>KONDENSATOR [-9]</td></tr> <tr><td>DRUCKWASSERREAKTOR [-14]</td></tr> <tr><td>SEKUNDÄRKREISLAUF [-10]</td></tr> <tr><td>SICHERHEITSBEHÄLTER [-8]</td></tr> <tr><td>KÜHLKREISLAUF [-3]</td></tr> <tr><td>KÜHLWASSERPUMPE [-12]</td></tr> <tr><td>STIEGWASSERREAKTOR [-7]</td></tr> <tr><td>DRUCKHALTER [-5]</td></tr> <tr><td>GENERATOR [-1]</td></tr> <tr><td>DAMPFERZEUGER [-15]</td></tr> <tr><td>TURBINE [-6]</td></tr> </table> 	REAKTORDRUCKBEHÄLTER [-13]	STEUERSTAB [-11]	PRIMÄRKREISLAUF [-4]	BRENNELEMENT [-2]	KONDENSATOR [-9]	DRUCKWASSERREAKTOR [-14]	SEKUNDÄRKREISLAUF [-10]	SICHERHEITSBEHÄLTER [-8]	KÜHLKREISLAUF [-3]	KÜHLWASSERPUMPE [-12]	STIEGWASSERREAKTOR [-7]	DRUCKHALTER [-5]	GENERATOR [-1]	DAMPFERZEUGER [-15]	TURBINE [-6]	 	<p>Euer bester Freund hat sich in dem Raum etwas weiter umgeschaut und eine große, aber leider verschlossene Stahltür gefunden.</p> <p>Außerdem hat er diesen Brief auf dem Schreibtisch entdeckt. Vielleicht hilft Euch der ja beim Öffnen der Tür....</p> 	<p>Nachdem Ihr schon die Rätselkarten X und K sowie die Warnweste gefunden habt fragt Ihr Euch, was für Phänomene auf den drei Bildern dargestellt werden.</p> <p>Um die richtige Massenzahl zu erhalten, müsst Ihr die Bilder in die richtige energetisch aufsteigende Reihenfolge bringen.</p> 
REAKTORDRUCKBEHÄLTER [-13]																		
STEUERSTAB [-11]																		
PRIMÄRKREISLAUF [-4]																		
BRENNELEMENT [-2]																		
KONDENSATOR [-9]																		
DRUCKWASSERREAKTOR [-14]																		
SEKUNDÄRKREISLAUF [-10]																		
SICHERHEITSBEHÄLTER [-8]																		
KÜHLKREISLAUF [-3]																		
KÜHLWASSERPUMPE [-12]																		
STIEGWASSERREAKTOR [-7]																		
DRUCKHALTER [-5]																		
GENERATOR [-1]																		
DAMPFERZEUGER [-15]																		
TURBINE [-6]																		

Rätsel-Karten

<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>U</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>V</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>W</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>X</p>																																												
<table border="1"> <tr><td>208PB</td><td>238U</td><td>201PB</td><td>239NP</td></tr> <tr><td>U</td><td>L</td><td>S</td><td>C</td></tr> <tr><td colspan="4"> </td></tr> <tr><td>238U</td><td>201HG</td><td>237NP</td><td>208PB</td></tr> <tr><td>A</td><td>T</td><td>M</td><td>R</td></tr> <tr><td colspan="4"> </td></tr> <tr><td>248PU</td><td>205PB</td><td>232TH</td><td>203TL</td></tr> <tr><td>F</td><td>R</td><td>M</td><td>E</td></tr> <tr><td colspan="4"> </td></tr> <tr><td>201PB</td><td>238U</td><td>239PU</td><td>205TL</td></tr> <tr><td>n</td><td>A</td><td>B</td><td>I</td></tr> </table> 	208PB	238U	201PB	239NP	U	L	S	C					238U	201HG	237NP	208PB	A	T	M	R					248PU	205PB	232TH	203TL	F	R	M	E					201PB	238U	239PU	205TL	n	A	B	I	<p>2 B F R O L Q R K K I M L 9 R J E Q S 4 O 2</p> <p>Folgt Ihr geschickt dem Farbverlauf, dann gibts den Schlüssel und die Tür geht auf!</p> 	<p>Ihr habt bereits die Rätselkarte E gefunden.</p> <p>Auf Rätselkarte E stehen drei Zahlwerte für euch bekannte physikalische Größen.</p> <p>Aus Herrn Rüthers Unterricht wisst Ihr was nun ansteht:</p> <p>Geg.: Ges.: Lsg.:</p> 	 <p>einfallendes Photon</p> <p>5</p> 
208PB	238U	201PB	239NP																																												
U	L	S	C																																												
238U	201HG	237NP	208PB																																												
A	T	M	R																																												
248PU	205PB	232TH	203TL																																												
F	R	M	E																																												
201PB	238U	239PU	205TL																																												
n	A	B	I																																												

Rätsel-Karten

<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>Y</p>	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>Z</p>
<p>Ihr habt die Rätselkarte D gefunden und schlagt Seite vier im Laborbuch auf. Hier stehen viele griechische Wörter und komischerweise auch römische Zahlen....</p> <p>Ihr entdeckt an der Stahltür ein Zahlenschloss, aber welcher Code öffnet nur diese verfluchte Tür? Vielleicht helfen euch die griechischen Wörter dabei?!</p> <p>I = 1 V = 5 X = 10 L = 50 C = 100</p> 	<p>KONSTANTE STRAHUNG [O] SPANNUNGSQUELLE [F] DÜNNES ZÄHLROHRFENSTER [T] DICKE ZÄHLROHRFENSTER [A] EDELGASION [I] ALKOHOLIION [R] POSITRON [U] ELEKTRON [K] ZÄHLER [S] ANODE [F] KATHODE [T] ALKOHOLDAMPF [U] WIDERSTAND [S] EDELGASATOM [C]</p> 

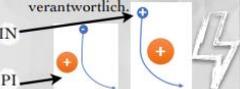
Rätsel-Karten

<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Nomenklatur von Atomkernen</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Alpha-Strahlung</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Beta-Strahlung</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Gamma-Strahlung</p>
---	--	---	--

<p>Welche der nachfolgenden Aussagen über das unten stehende Nuklid treffen zu?</p> <p>$^{234}_{91}\text{Pa}$</p> <ol style="list-style-type: none"> Die Massenzahl des Nuklids ist 91. Das Nuklid besitzt 143 Neutronen. Die Kernladungszahl ist 234. Das Nuklid befindet sich in einem angeregten Zustand. 	<p>Welche der Aussagen über die Alpha-Strahlung sind richtig?</p> <p>$^{239}_{94}\text{Pu} \rightarrow ^{235}_{92}\text{U} + ^4_2\text{He}$</p> <ol style="list-style-type: none"> Die Reichweite in Luft beträgt einige Meter. Die Kernladungszahl des Mutternuklids ist immer um zwei größer als die des Tochternuklids. Kann bereits mit einem Blatt Papier abgeschirmt werden. 	<p>Welche der Aussagen über den Beta-Zerfall sind korrekt?</p> <ul style="list-style-type: none"> UM kontinuierliches Energiespektrum IN typische Energie hunderte MeV TRI N-13 nutzt man in der Medizin für die Elektronen-Emissions-Tomographie VA Abschirmung durch Alu RUBI Veränderung der Massenzahl DI Zerfall bewegt sich auf Isobare SCAN diskretes Energiespektrum RHO Energieabgabe durch Neutron NA Reichweite in Luft: cm / m IRI Entdeckung Neutrino 1958 	<p>Welche Aussagen über die Gamma-Strahlung sind korrekt?</p> <ol style="list-style-type: none"> Gamma-Strahlung kann nie vollständig abgeschirmt werden. Beim Gamma-Zerfall ändert sich das chemische Element. Die Energieabgabe erfolgt meist nach einem vorangegangenen Kernzerfall. Die Gamma-Photonen können in elektrischen und magnetischen Feldern abgelenkt werden. 
--	---	---	---

Multiple-Choice-Fragen-Karten

<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Nuklidkarte</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Detektion ionisierender Strahlung</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Wechselwirkung von Strahlung mit Materie</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Kernzerfall</p>
--	--	---	--

<p>In der Nuklidkarte bedeutet die Symbolik dieses Nuklids:</p> <p>$^{40}_{19}\text{K}$ 0.0117 $1.28 \cdot 10^9 \text{ a}$ β^- 1.3; β^+ 1.3 γ 1461; ν 30 $\eta_{n, \alpha}$ 0.42; $\eta_{n, p}$ 4.4</p> <ul style="list-style-type: none"> primordiales Nuklid ✓ G ✗ E Massenanteil 1,17% ✓ P ✗ I 50-95% Beta- & 5-50% Beta+ ✓ N ✗ R 50-95% Beta+ & 5-50% Beta- ✓ F ✗ D 	<p>Welche dieser Behauptungen sind falsch?</p> <ol style="list-style-type: none"> Die Totzeit eines Geiger-Müller-Zählrohrs liegt typischerweise im Bereich von einigen ms. Bei hohen Zählraten unterschätzt das GMZ die Strahlungsemission. Ein Halbleiterdetektor ist im Grunde genommen eine in Sperrichtung geschaltete Diode. Das GMZ arbeitet in einem Spannungsbereich von einigen 10 V. 	<p>Welche dieser Aussagen treffen zu?</p> <ul style="list-style-type: none"> UM Abschirmungen können sekundäre Strahlungsquellen darstellen. DI $E_{\text{vor}} = h \cdot f - E_{\text{nach}}$ CAE Beschleunigte Ladungen strahlen. EU Elektronen verlieren ihre Energie ausschließlich durch Bremsstrahlung. SI Das Coulombfeld des Kerns ist für die Bremsstrahlung verantwortlich. 	<p>Entscheidet ob die Aussagen richtig oder falsch sind!</p> <p>$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$ ✓ AC ✗ NEP</p> <p>$t_{1/2} = \ln(2) \cdot \lambda$ ✓ DON ✗ UM</p> <p>Die Aktivität ist das Produkt aus der Zerfallskonstanten und der Anzahl von Kernen. ✓ NI ✗ RA</p> <p>Die Aktivität ist das Produkt aus der Halbwertszeit und der Anzahl von Kernen. ✓ TU ✗ TI</p> 
--	---	--	---

Multiple-Choice-Fragen-Karten

<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Zerfallsreihen</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Bindungsenergie des Atomkerns</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>neutroneninduzierte Kernspaltung</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Uranium Fuel-Cycle Frontend</p>
<p>Welche der vier natürlichen Zerfallsreihen existiert in der Natur nicht mehr?</p> <p>151 $4n$</p> <p>148 $4n+1$</p> <p>145 $4n+2$</p> <p>146 $4n+3$</p> 	<p>Entscheiden Sie ob die Aussagen zutreffend sind oder nicht!</p> <ul style="list-style-type: none"> Der Massendefekt ist die Differenz der Massen der Konstituenten und Produktkerne. <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> W <input checked="" type="checkbox"/> I Der Massendefekt ist die Differenz zwischen dem Produkt aus A & u und der wirklichen Kernmasse. <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> S <input checked="" type="checkbox"/> A $E_B = A \cdot u \cdot c^2$ <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> L $E_B = \Delta m \cdot c^2$ <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> D <input checked="" type="checkbox"/> R 	<p>Welche Aussagen über die neutroneninduzierte Kernspaltung sind nicht richtig?</p> <ul style="list-style-type: none"> 8 Für die Spaltung von U-235 benötigt man schnelle Neutronen. 3 Pro gespaltenem U-235 Kern werden 200 MeV Energie frei. 4 Kerne werden immer symmetrisch gespalten. 0 In der Nuklidkarte sind die Spaltausbeuten für die Isobaren aufgetragen. 7 Die bei der Spaltung entstehenden Neutronen müssen moderiert werden, um weitere Kerne zu spalten. 	<p>Welche Aussagen über die Urangewinnung sind richtig?</p> <ul style="list-style-type: none"> 6 In einer Tonne Gestein sind im Schnitt 3g Uran enthalten. 0 Die größten Uranreserven lagern in Kasachstan. 9 Deutschland ist drittgrößter Uranproduzent weltweit. 2 Bei gleichbleibendem Verbrauch reichen die weltweiten Uranreserven für weitere 100 Jahre. 5 In den Minen wird Pechblende (Urandioxid) gefördert. Für die Weiterverarbeitung wird allerdings Yellow Cake (TriUranOctoOxid) benötigt.

Multiple-Choice-Fragen-Karten

<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Kernkraftwerk</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Uranium Fuel-Cycle Backend</p>
<p>Entscheidet ob folgende Aussagen richtig sind!</p> <ul style="list-style-type: none"> Druckwasserreaktor. Arbeitspunkt: überkritisch bei 390 °C & 130 bar <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> U <input checked="" type="checkbox"/> N Bis zu 50% der Leistung eines DWR stammen aus der Spaltung von Pu-239 <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> R <input checked="" type="checkbox"/> O Sidewasserreaktor Freisetzung in die Umgebung: ${}^{10}_{0}(n,p){}^{10}_{1}N \left(t_{1/2} = 7,1 s \right) \rightarrow {}^{10}_{0}e + {}^{10}_{1}e + \bar{\nu} \quad E_p = 6,1 \text{ MeV}$ <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> F <input checked="" type="checkbox"/> T Das Multibarrierenprinzip stützt sich auf folgende Punkte: <ol style="list-style-type: none"> Brennstoffpellets gasdichte Brennstabhülle Kühlsystem & Reaktordruckbehälter Containment Stahlbetongebäude <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> W 	<p>Welche dieser Aussagen sind richtig?</p> <ul style="list-style-type: none"> 7 Bei der Transmutation werden langlebige Spaltprodukte mit Neutronen bestrahlt, um diese in stabile oder kurzlebige Kerne umzuwandeln. 5 Beim Partitioning werden U & Pu von den Spaltprodukten abgetrennt, um aus diesen neue "Mischoxid" (MOX) Brennelemente zu fertigen. 0 Das deutsche tiefengeologische Endlager für hochradioaktive Abfälle soll für 100 000 000 Jahre sicher sein. 3 Die IAEA unterscheidet zwischen wärmeentwickelnden Abfällen und Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung. 

Multiple-Choice-Fragen-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp <input type="radio"/></p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp <input type="radio"/></p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung <input type="radio"/></p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp <input type="radio"/></p>
<p>Die Massenzahl steht oben links, die Kernladungszahl unten links. Die Neutronenzahl ist unten rechts zu finden, sofern sie aufgetragen ist. Das "m" steht für metastabil.</p>	<p>Gesucht werden die Fachbegriffe für bestimmte Kernbestandteile und Nuklidgruppen.</p>	<p>Die richtigen Antworten sind mit den Zahlen 2 und 3 versehen.</p>	<p>Bei zwei Fragen spricht man von gewissen ZAHLEN. Fünf der Antworten tragen die Silbe ISO und drei die Silbe ON in ihren Namen.</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung <input type="radio"/></p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp <input type="checkbox"/></p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp <input type="checkbox"/></p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung <input type="checkbox"/></p> <p>Multiple-Choice</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Kernladungszahl 2. Massenzahl 3. Isoton 4. Isobar 5. Isotop 6. Isodiapher 7. Isomer 8. Proton 9. Neutron 10. Nukleon <p>Lösungswort: THORIUM</p> <p>Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Nomenklatur von Atomkernen" aufmerksam geworden sein.</p>	<p>Die Skalierung des richtigen Diagramms hilft Euch, die falsche Lösung zu finden.</p>	<p>Der Bragg-Peak tritt für massive geladene Teilchen auf und ist daher vor allem für die Alpha-Strahlung von Bedeutung!</p>	<p>Die richtigen Antwortmöglichkeiten sind 14, 12 und 18.</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp <input type="checkbox"/></p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung <input type="checkbox"/></p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp <input type="checkbox"/></p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp <input type="checkbox"/></p>
<p>Massive geladene Teilchen geben in ihrer Wechselwirkung mit Materie ihre Energie nicht kontinuierlich ab. Die abgegebene Energiemenge wächst mit sinkender Geschwindigkeit hin zu einem Maximum, dem Bragg-Peak, bevor das Teilchen vollständig abgebremst wird.</p>	<p>Aufgetragen wird in dem Diagramm der Energieverlust gegen die zurückgelegte Strecke.</p> <p>Das Diagramm mit der Nummer 43 ist richtig.</p> <p>Nummer 41 ist ein Beta-Spektrum und Nummer 42 ein Röntgenspektrum.</p> <p>Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Alpha-Strahlung" aufmerksam geworden sein.</p>	<p>Es gibt nur vier richtige Antworten.</p>	<p>Was haben eigentlich die Pfeile sowie die + & - Zeichen zu sagen? Könnten in dem Chaos etwa Reaktionsgleichungen versteckt sein?</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung <input type="checkbox"/></p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp <input type="checkbox"/></p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung <input type="checkbox"/></p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp <input type="checkbox"/></p> <p>Multiple-Choice</p>
<p>Die richtigen Antworten sind UM, VA, DI und NA.</p>	<p>Neben dem Zahlen- und Buchstabenchaos findet sich auf der Seite auch eine Tabelle. Die sollte helfen, Ordnung in das Chaos zu bringen.</p>	<p>Wenn Ihr die Reaktionsgleichungen der Zerfallsarten in der richtigen Reihenfolge in die Tabelle eingesetzt habt, ergibt sich das Lösungswort ZIRKONIUM.</p> <p>Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Beta-Strahlung" aufmerksam geworden sein.</p>	<p>Es gibt nur zwei richtige Antworten.</p> <p>Könnt Ihr Lichtstrahlen in elektromagnetischen Feldern ablenken?</p>

Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp  Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung  Multiple-Choice</p>
<p>Gesucht waren folgende Nuklide: He-6 (Beta -); Li-8 (Beta -); Ac-227 (Beta -); Cl-38 (Beta -); Tc-99 (Beta -); Pm-151 (Beta -);</p> <p>Alle Beta Minus Nuklide liefern richtige Buchstaben für das Lösungswort.</p> <p>Die Multiple-Choice Frage "Nuklidkarte" liefert die fehlenden Buchstaben.</p>	<p>Die Antwortmöglichkeit zu der Zahl 5 ist falsch.</p>	<p>Insgesamt sind vier Begriffe, die recht ähnlich zu den richtigen Begriffen sind, zu viel im Spiel.</p>	<p>Die falschen Antworten sind 8 und 5.</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp  Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>
<p>Die Zahlen geben die Reihenfolge der Buchstaben im Lösungswort an.</p>	<p>Das Lösungswort ist STICKSTOFFE. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Detektion ionisierender Strahlung" aufmerksam geworden sein.</p>	<p>Ladungen werden durch das Coulombfeld des Kerns beschleunigt.</p>	<p>Bei der Wechselwirkung von Gamma-Strahlung mit Materie gibt es drei besonders wichtige Prozesse.</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung ⚡ Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp ⚡</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung ⚡</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp ★</p>
<p>Die richtigen Antworten sind UM, CAE und SI.</p>	<p>Jeweils ein Prozess überwiegt in einem bestimmten Energiebereich der Gamma-Photonen. Es liegt an Euch zuzuordnen welcher dieser Prozesse in welchem Energiebereich (niedrig, mittel, hoch) besonders stark ausgeprägt ist.</p>	<p>Photoeffekt bis 0,1 MeV Compton-Effekt von 0,1 - 1 MeV Paarzeugung ab 1,022 MeV</p> <p>Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Wechselwirkung von Strahlung mit Materie" aufmerksam geworden sein.</p>	<p>Gesucht wird die Anzahl radioaktiver Kerne zum Zeitpunkt $t=0!$ Vielleicht hilft Euch dabei die Zerfallsgleichung?!</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp ★ Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung ★ Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp ★</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung ★</p>
<p>Die Entscheidung welche der Formeln richtig ist wird Euch durch die Einheit abgenommen.</p> <p>Wenn die Aktivität die Anzahl von Kernzerfällen pro Zeitintervall angibt, wird Euch auch hier die Entscheidung durch die Einheit abgenommen!</p>	<p>Das Lösungswort lautet: ACTINIUM</p>	$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \Rightarrow N_0 = \frac{N(t)}{2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}}$	<p>Die gesuchte Zahl ist die 228.</p> <p>Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Kernzerfall" aufmerksam geworden sein.</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp </p>
<p>$4n$ = Thorium-Reihe $4n+1$ = Neptunium-Reihe $4n+2$ = Uran-Radium-Reihe $4n+3$ = Uran-Actinium-Reihe</p>	<p>Drei der gesuchten Nuklide haben $Z=82$.</p>	<p>Die Neptunium-Reihe ist in der Natur nicht mehr vorhanden, da seit der Bildung der irdischen Materie bereits alles Np-237 (HWZ $2,1 \cdot 10^6$ a) zerfallen ist.</p> <p>Die richtige Lösung ist somit $4n+1$ und die Zahl 148.</p>	<p>Nutzt das Euch bekannte $4n$-Schema, um die Start- und Endnuklide eindeutig einander zuordnen zu können.</p> <p>$4n$ $4n+1$ $4n+2$ $4n+3$</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p> <p>Multiple-Choice</p>
<p>Es ergeben sich folgende Nuklidpaare:</p> <p>$4n$: Th-232 & Pb-208 $4n+1$: Np-237 & Tl-205 $4n+2$: U-238 & Pb-206 $4n+3$: U-235 & Pb-207</p> <p>Damit entsteht das Lösungswort: SAMARIUM</p> <p>Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Zerfallsreihen" aufmerksam geworden sein.</p>	<p>Eine der Definitionen trifft auf den Massenüberschuss zu und eine der Formeln beschreibt eine sehr berühmte Bindungsenergie und die andere eben nicht.</p>	<p>Aus den gegebenen physikalischen Größen lassen sich zwei unterschiedliche Formeln bilden.</p>	<p>Es ergeben sich folgende Buchstaben: W, A, L, D</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp  Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>
<p>Die Formel hat folgende Gestalt:</p> <p>$?? = ?? - ? - ? - ? + ?$</p>	<p>Gesucht wurde Weizsäckers Massenformel, welche die Bindungsenergie von Atomkernen beschreibt.</p> $E_B = a_1 A - a_2 A^{2/3} - a_3 \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_4 \frac{(A-2Z)^2}{A} - \delta(N, Z)$ <p>Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Bindungsenergie des Atomkerns" aufmerksam geworden sein.</p>	<p>Achtet auf die Formulierung der Frage! Eine Antwort könnt ihr alle durch das vorherige Rätsel als falsch entlarven. Bleiben noch zwei weitere zu eliminieren...</p>	<p>Vielleicht hilft es Euch eine gewisse Ordnung in die Bilder zu bringen. Im Moment ist es lediglich ein buntes Teilchenchaos....</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung  Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung  Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp  Multiple-Choice</p>
<p>Die gesuchten Antworten sind 8 und 4.</p>	<p>Grün, Orange, Gelb, Grau Nach was für einem Prozess sieht das aus? Wie macht man aus einer Kugel nur zwei?</p>	<p>Dargestellt wird der Ablauf der neutroneninduzierten Kernspaltung. Ihr solltet daher auf die Multiple-Choice-Karte "Neutroneninduzierte Kernspaltung" aufmerksam geworden sein!</p>	<p>Die Antwort zur Zahl 9 war einmal richtig, ist aber mittlerweile nicht mehr zutreffend!</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung  Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p>
<p>Überall tauchen diese bunten Buchstaben und Ziffern auf. Eine der Farben scheint aber von besonderer Bedeutung zu sein!</p>	<p>Die richtigen Antworten sind 6, 2 und 5.</p>	<p>Die Rätselkarte "V" verrät Euch, dass Ihr dem diagonalen, hellblauen Farbverlauf folgen sollt. Dazu müsst Ihr diesen aber erst einmal herstellen...</p>	<p>Insgesamt sind 7 dieser Farbcodes im Spiel versteckt gewesen. Legt Ihr diese in folgender Reihenfolge nebeneinander ergibt sich das hellblaue Lösungswort: 1. Brief 2. Karte "V" links 3. Bild Yellow Cake 4. Deutschlandkarte 5. Bild Schachtaufzug 6. Bild Kegelhalden 7. Karte "V" rechts Lösungswort: GROHNDE</p> <p>Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Uranium Fuel-Cycle-Frontend" aufmerksam geworden sein.</p>

Hilfe-Karte

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp  Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung  Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp </p>
<p>Der kritische Punkt von Wasser liegt bei 374 °C und 218 bar.</p>	<p>Wieso stehen in den Lücken Buchstaben und hinter den Wörtern negative Zahlen?</p>	<p>Es ergeben sich die Buchstaben: N, R, F und E.</p>	<p>Bei dem abgebildeten Reaktor handelt es sich um einen Druckwasserreaktor, der sich durch ein nicht kontaminiertes Maschinenhaus auszeichnet! Stehen die negativen Zahlen vielleicht für eine Reihenfolge?</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp  Multiple-Choice</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung  Multiple-Choice</p>
<p>F (-4); E (-5); E (-11); L (-2); N (-10); D (-1); G (-15); R (-9); H (-8); A (-13); I (-6)</p> <p>Die negativen Zahlen geben die Buchstabenreihenfolge im Lösungswort an, allerdings von hinten gezählt.</p> <p>Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte "Kernkraftwerk" aufmerksam geworden sein.</p>	<p>Die Antwortmöglichkeit zu der Zahl "0" ist falsch.</p>	<p>Der Metallstab könnte ein unvollständiger Schlüssel sein, fehlt nur noch der Schlüsselbart.</p>	<p>Die richtigen Antworten sind 7 und 5.</p>

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp </p>
<p>Ihr müsst den Bart aus der Rätselkarte "N" ausschneiden und an den schwarzen Linien Knicken. Anschließend müsst Ihr die einzelnen Bestandteile des Schlüsselbarts in den Metallstab einführen. Achtet hierbei auf die großgeschriebenen HINWEISE auf Rätselkarte "C".</p>	<p>Der Schlüssel liefert die Zahlen 3, 4 und 1.</p> <p>Außerdem solltet ihr auf die Multiple-Choice-Karte "Endlagerung" aufmerksam geworden sein!</p>	<p>So viele Halbwertszeiten und Radionuklide... Ob da wohl welche von zusammengehören?!</p>	<p>Um den Fahrstuhl zu aktivieren müsst Ihr die Kontakte mit dem gefundenen Kabel verbinden. Auf Rätselkarte "F" habt Ihr die dafür vorgesehene Reihenfolge gefunden, allerdings ohne die passenden Halbwertszeiten...</p> <p>Diese kann man zum Beispiel in der Nuklidkarte nachschlagen, oder einfach wild die Kontakte verbinden, wertvolle Zeit verschwenden und den Fahrstuhl vermutlich durch einen Kurzschluss vollkommen fahruntüchtig machen... Die Entscheidung liegt ganz bei Euch!</p>

Hilfe-Karten



Folgende Halbwertszeiten fehlten in der Auflistung auf Rätselkarte "F":

1,3[°]10[^]9 a; 28,9 a; 8 d; 2,1[°]10[^]5 a;
 12,3 a; 24110 a; 5,3 a; 423,6 a; 3,8 d;
 1600 a; 1,4[°]10[^]10 a; 30 a; 5730 a;
 7[°]10[^]8 a; 4,5[°]10[^]9 a

Nachdem ihr alle Kontakte in der richtigen Reihenfolge verbunden habt ergibt sich aus dem Kabelsalat das Wort "RAUF". Schaut euch diese Lösungskarte jetzt an!

Hilfe-Karten

<p>LÖSUNGS-KARTE</p> <p>Franclium</p>	<p>LÖSUNGS-KARTE</p> <p>Bismut</p>	<p>LÖSUNGS-KARTE</p> <p>Europium</p>	<p>LÖSUNGS-KARTE</p> <p>Gadolinium</p>
<p>Eure Untersuchung des Raumes schreitet weiter voran.</p> <p>Ihr bewegt euch vorsichtig an den heruntergekommenen Einrichtungsgegenständen vorbei durch den Raum.</p> <p>Ihr findet auf dem Boden vor einem alten Werkzeugkoffer die Rätselkarten X, I und P.</p>	<p>Der Inhalt des Briefes stimmt Euch nachdenklich....</p> <p>Ob es wirklich gefährlich hier unten ist? Uran soll ja zumindest nicht gesundheitsfördernd sein, soviel habt Ihr im Physikunterricht auch noch verstanden!</p> <p>Um euch etwas abzulenken geht Ihr zu der großen Stahltür. Dort findet Ihr die Rätselkarte Y und eine Nuklidkarte.</p>	<p>Beim Umblättern im Laborbuch fallen Euch die Rätselkarten T und S entgegen.</p>	<p>Das Schloss springt auf und gemeinsam schiebt Ihr die schwere Tür auf. Ihr seid verunsichert, da in dem neuen Raum, den Ihr so eben erreicht habt, bereits Licht brennt... War hier etwa schon jemand vor Euch?!</p> <p>An der brennenden Gaslampe findet Ihr die Rätselkarten W und M.</p>

Lösungs-Karten richtig

<p>LÖSUNG-S-KARTE</p>  <p>Americium</p>	<p>LÖSUNG-S-KARTE</p>  <p>9,96 m</p>	<p>LÖSUNG-S-KARTE</p>  <p>$2,3 \times 10^6$ a</p>	<p>LÖSUNG-S-KARTE</p>  <p>6,16 h</p>
<p>Nachdem Ihr die erste Herausforderung gemeistert habt seht Ihr unter dem Schreibtisch die Rätselkarten D, G und Z.</p> 	<p>Ihr habt Euch langsam durch den Raum bewegt und noch weitere Gaslampen gefunden. Nachdem Ihr die restlichen Lampen angezündet habt seht Ihr erst wie groß der Raum eigentlich ist. Es stehen mehrere Loren und viele Werkzeuge herum.</p> <p>Einer deiner Freunde wühlt in den Erzklumpen vor einer der Loren. Dort findet er eine Warnweste und die Rätselkarten K und U.</p> 	<p>Gemeinsam geht Ihr weiter durch den großen Raum und seht in der linken Ecke etwas aufblitzen.</p> <p>Unter einem Scherbenhaufen, der wohl das Licht Eurer Lampe reflektiert hat, findet Ihr noch die Rätselkarte E.</p> 	<p>In den vergangenen Minuten habt Ihr Euch intensiver mit der Nuklidkarte auseinandergesetzt und bemerkt, dass in dieser weitere Rätselkarten versteckt waren.</p> <p>Ihr findet die Rätselkarten O & L.</p> 

Lösungs-Karten richtig

<p>LÖSUNG-S-KARTE</p>  <p>7×10^{16} a</p>	<p>LÖSUNG-S-KARTE</p>  <p>Greifswald</p>	<p>LÖSUNG-S-KARTE</p>  <p>Grohnde</p>	<p>LÖSUNG-S-KARTE</p>  <p>Mamm-Untrop</p>
<p>Ihr habt es nach einige Minuten in den engen Lüftungsschächten endlich wieder in einen größeren Raum geschafft.</p> <p>Auf dem Weg durch die Lüftungsschächte habt Ihr eine Karte von Deutschland und die Rätselkarten A und R gefunden.</p> 	<p>Ihr habt neue Gaslampen gefunden. Als Ihr den Raum erhellt habt seht Ihr eine Fahrstuhlür. Du rennst auf die Tür zum Fahrstuhlschacht zu. So ein Mist die ist verschlossen....</p> <p>Enttäuscht geht Ihr durch den Raum zurück zu den Anderen. Dabei kommt Ihr an einem alten Messinstrument vorbei....</p> <p>Eine grüne Linie flackert über den Bildschirm des Oszilloskops.</p> <p>Als Ihr euch den Aufbau genauer anschaut entdeckt Ihr die Rätselkarten H & Q.</p> 	<p>Ihr hört einen lauten Knall!</p> <p>Einer aus eurer Truppe hat eine Holzkiste gegen die verschlossene Tür des Fahrstuhls geworfen, die mit einem lauten Knall in tausend Kleinteile zersplitterte.</p> <p>Ok jetzt wird es ernst, die ersten von euch geraten endgültig in Panik....</p> <p>Aber was ist das? In dem Trümmerhaufen liegt die Multiple-Choice-Fragenkarte "Uranium Fuel-Cycle Frontend"</p> 	<p>Die Fahrstuhlür geht auf, Ihr habt es endlich geschafft! Ihr könnt das Ziel schon vor euch sehen.</p> <p>Der süße Duft der Freiheit lässt sich schon erahnen.</p> <p>Doch eine letzte große Hürde wartet noch auf Euch, damit Ihr sie gemeinsam überwinden könnt.</p> <p>Der Fahrstuhl fährt einfach nicht los, egal welche Knöpfe Ihr drückt.</p> <p>Ihr findet in dem Fahrstuhl die Rätselkarte F, vielleicht hilft Euch diese den Fahrstuhl zum Laufen zu bekommen....</p> 

Lösungs-Karten richtig



Vor der Tür zum Fahrstuhl steht eine große Box voller Kabel. Hoffentlich sind das nicht die Kabel für die Fahrstuhlsteuerung denkst du insgeheim... Bloß die anderen nichts merken lassen, die sind eh schon panisch genug!

Du wühlst etwas in dem Kabelsalat und findest die Rätselkarten J und N. Komischerweise sind die beiden Karten mit einem Kabel verbunden. Du nimmst auch das Kabel mit, denn das wird sicherlich noch nützlich sein!

Auf einmal blinkt eine rote Leuchte am Ende des Raumes auf!

Das kann nichts Gutes heißen...

Als Ihr Euch das genauer anschaut sehr Ihr ein Geiger-Müller-Zählrohr, dass am Anschlag seiner Skala zittert.

Dort liegt die Rätselkarte V und ein Bauhelm.

So langsam bekommt Ihr es mit der Angst zu tun und möchtet nun noch diesen heißen, feuchten und stickigen Schacht verlassen.

Um gegen die steigende Panik anzukämpfen, atmet Ihr tief durch.

Auf dem steinigen Boden vor Euch findet Ihr die Rätselkarte C und einen alten Metallstab.

Eure Verkabelung der Schaltkreise war erfolgreich und der Fahrstuhl setzt sich endlich in Bewegung!

Das Rumpeln, Wackeln und die ächzende Mechanik des sich nach oben bewegenden Fahrstuhls wird Euch in Zukunft immer an das Gefühl von Freiheit erinnern.

Als Ihr die Tür öffnet, begrüßt euch der Sonnenaufgang und Moment was macht Herr Rütler hier?

Er erklärt Euch, dass Ihr soeben unfreiwillig in den für Morgen geplanten Escape Room reingestolpert seid und es entgegen seinen Erwartungen von alleine wieder an die Oberfläche geschafft habt!

Wertet nun Euer GMZ und die Stoppuhr aus, um zu schauen wie gut Ihr euch geschlagen habt.

Lösungs-Karten richtig



Das war die falsche Antwort!

Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.

Versucht es erneut.

Das war die falsche Antwort!

Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.

Versucht es erneut.

Das war die falsche Antwort!

Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.

Versucht es erneut.

Das war die falsche Antwort!

Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.

Versucht es erneut.

Lösungs-Karten falsch

<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>103 ms</p>	<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>Natrium</p>	<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>1,6 s</p>	<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>Scandium</p>
<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>

Lösungs-Karten falsch

<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>63 s</p>	<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>61,4 s</p>	<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>Samarium</p>	<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>96,6 a</p>
<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr setzt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld aus. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr setzt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld aus. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>

Lösungs-Karten falsch

<p>LÖSUNGS-KARTE</p>  <p>340 d</p>	<p>LÖSUNGS-KARTE</p>  <p>Xenon</p>	<p>LÖSUNGS-KARTE</p>  <p>Plutonium</p>	<p>LÖSUNGS-KARTE</p>  <p>$6,8 \times 10^7$ a</p>
<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>

Lösungs-Karten falsch

<p>LÖSUNGS-KARTE</p>  <p>11 ms</p>	<p>LÖSUNGS-KARTE</p>  <p>8,58 ms</p>	<p>LÖSUNGS-KARTE</p>  <p>70,619 s</p>	<p>LÖSUNGS-KARTE</p>  <p>13,6 s</p>
<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>	<p>Das war die falsche Antwort!</p> <p>Ihr habt Euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld ausgesetzt. Der angezeigte Wert Eures GMZ erhöht sich um 1 MCts.</p> <p>Versucht es erneut.</p>

Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



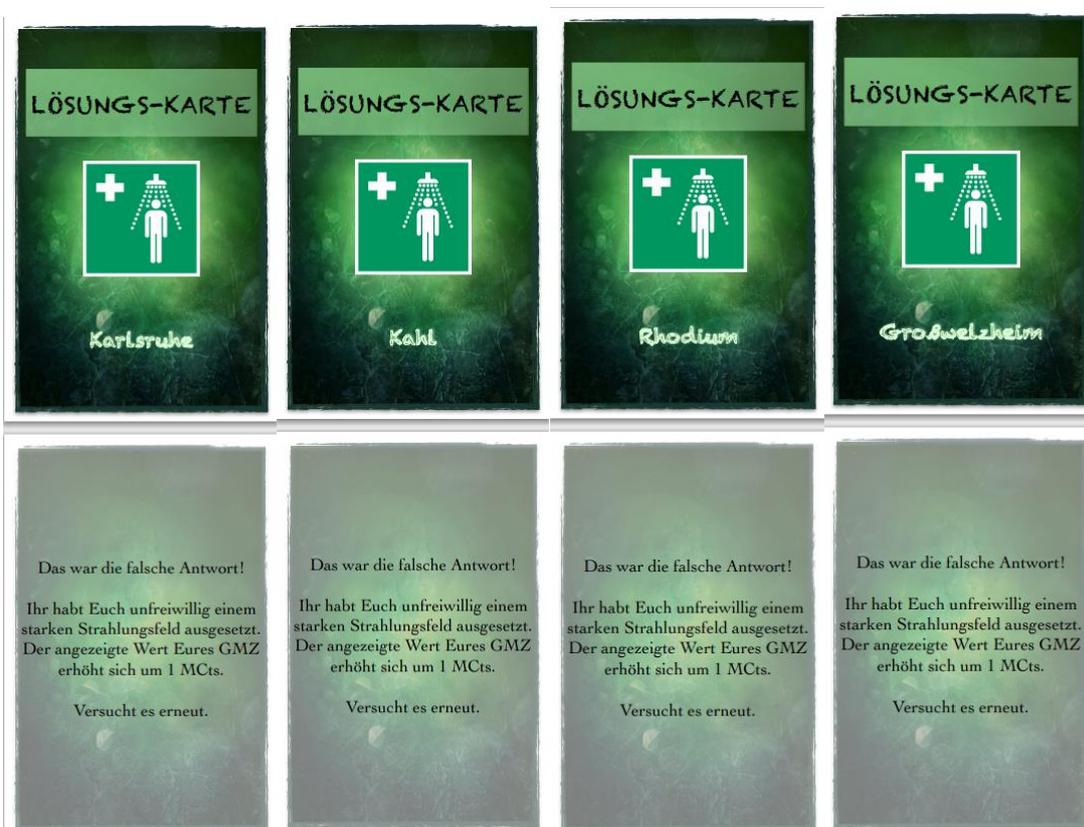
Lösungs-Karten falsch



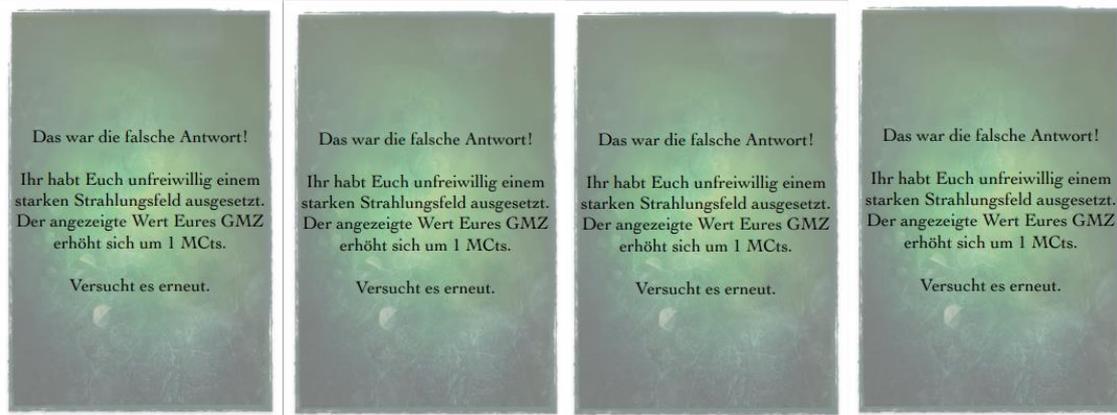
Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



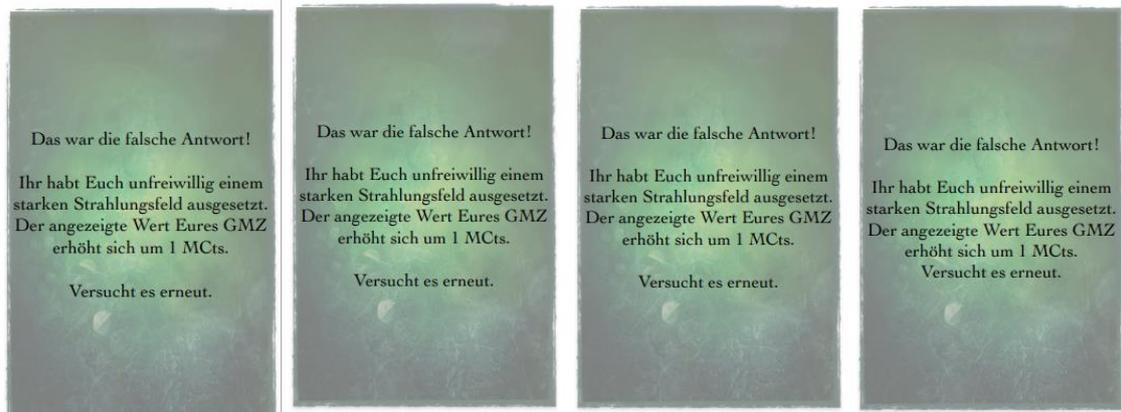
Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch



Lösungs-Karten falsch

1. Gibt die Anzahl der Protonen im Kern an.
 2. Gibt die Summe aus Protonen und Neutronen im Kern an.
 3. Gleiche Neutronenzahl aber variable Protonenzahl.
 4. Konstante Massenzahl.
 5. Gleiche Protonenzahl aber variable Neutronenzahl.
 6. Nuklid mit gleichem Neutronenüberschuss.
 7. Gleiche Protonen- und Massenzahl, aber unterschiedliche innere Energiezustände.
 8. Name für positiv geladenen Kernbestandteil.
 9. Name für elektrisch neutralen Kernbestandteil.
 10. Allgemeiner Name für Kernbestandteil.

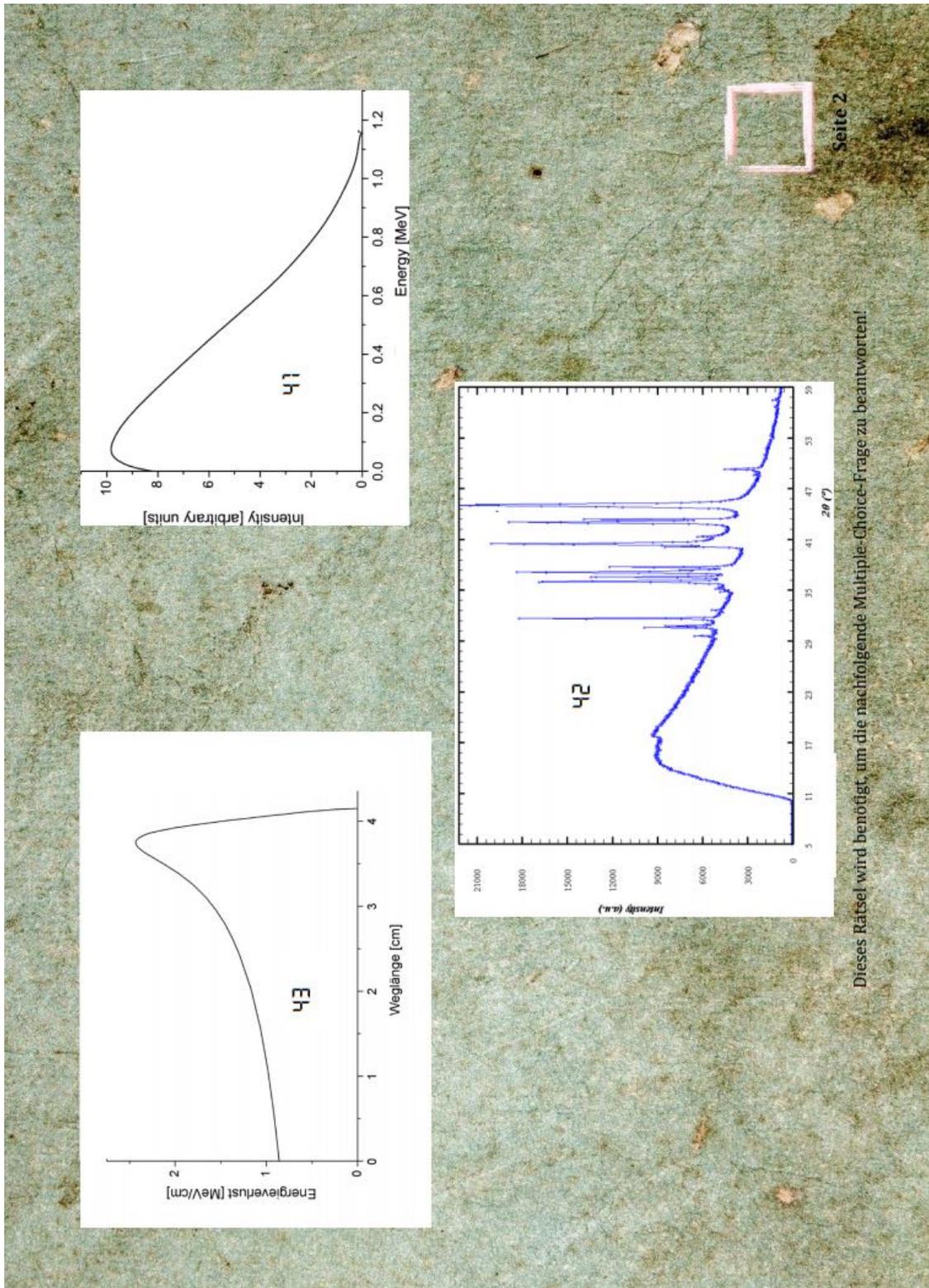
Erstellt mit XWords - dem kostenlosen Online-Kreuzworträtsel-Generator
<https://www.xwords-generator.de/de>

Seite 1

Dieses Rätsel wird benötigt, um die nachfolgende Multiple-Choice-Frage zu beantworten!

Laborbuchseite 1

Quelle Hintergrund: <https://pixabay.com/de/photos/jahrgang-papier-retro-antik-textur-2721099/>



Seite 2

Dieses Rätsel wird benötigt, um die nachfolgende Multiple-Choice-Frage zu beantworten!

Laborbuchseite 2

Quelle Bragg-Kurve: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Braggkurve_von_Alphas_in_Luft.png

Quelle Beta-Spektrum: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beta_spectrum_of_RaE.png

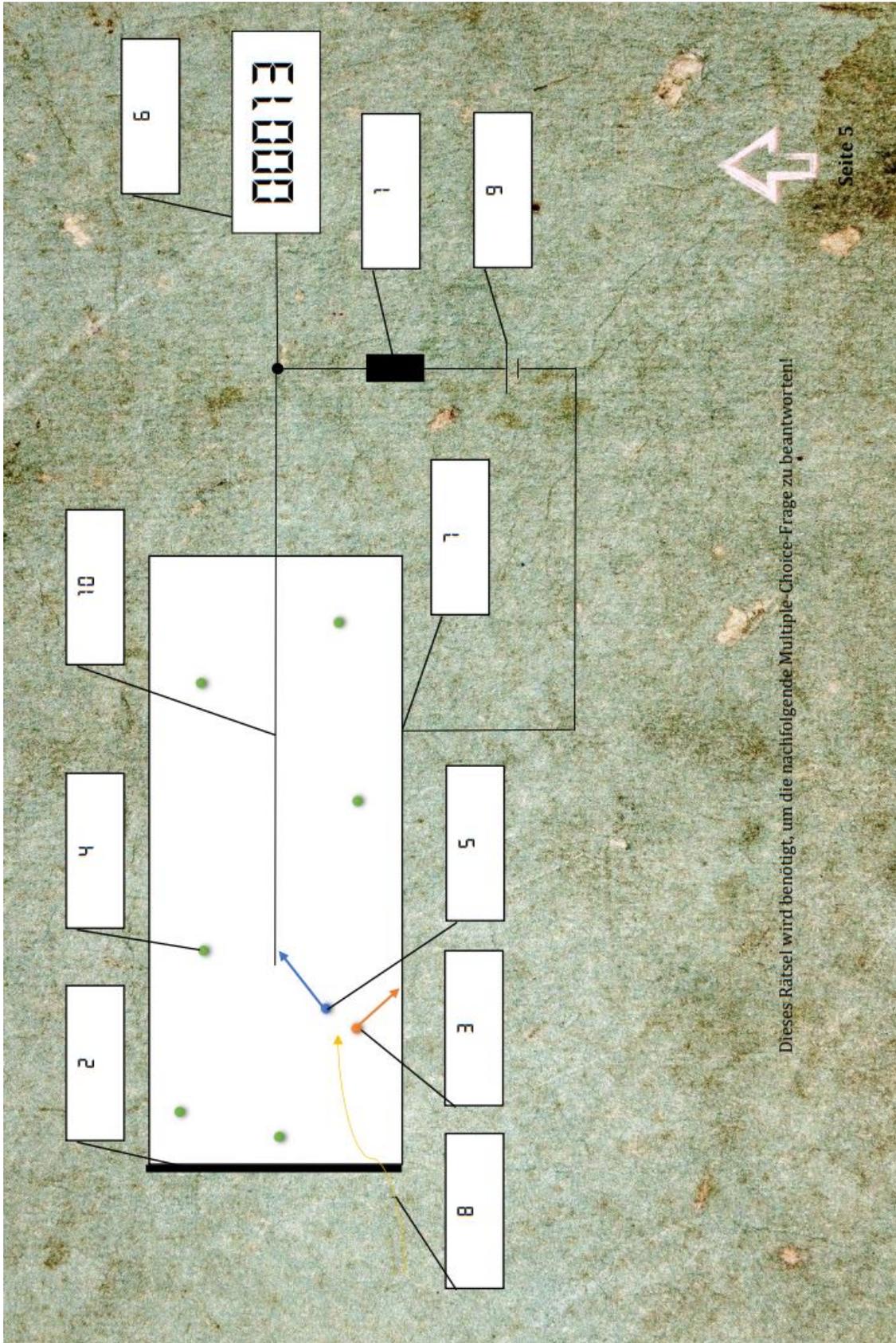
Quelle Röntgen-Spektrum: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tube_Cu_LiF.PNG

Griechisches Alphabet		Name des Buchstaben		Aussprache
Klein-Buchstaben	Groß-Buchstaben	Lateinisch	Griechisch	
α	Α	Alpha	ἄλφα	a
β	Β	Beta	βῆτα	b
γ	Γ	Gamma	γάμμα	g
δ	Δ	Delta	δέλτα	d
ε	Ε	Epsilon	ἕψιλόν	e
ζ	Ζ	Zeta	ζῆτα	z, ds
η	Η	Eta	ἦτα	ā
θ	Θ	Theta	θῆτα	th
ι	Ι	Jota	ἰῶτα	i
κ	Κ	Kappa	κάππα	k
λ	Λ	Lambda	λάμβδα	l
μ	Μ	My	μῦ	m
ν	Ν	Ny	νῦ	n
ξ	Ξ	Xi	ξῖ	x, ks
ο	Ο	Omikron	ὀ μικρόν	o
π	Π	Pi	πί	p
ρ	Ρ	Rho	ῥῶ	r
σ ς	Σ	Sigma	σίγμα	s
τ	Τ	Tau	ταῦ	t
υ	Υ	Ypsilon	ὑ ψιλόν	y, ü
φ	Φ	Phi	φῖ	f
χ	Χ	Chi	χῖ	ch
ψ	Ψ	Psi	ψῖ	ps
ω	Ω	Omega	ὦ μέγα	o



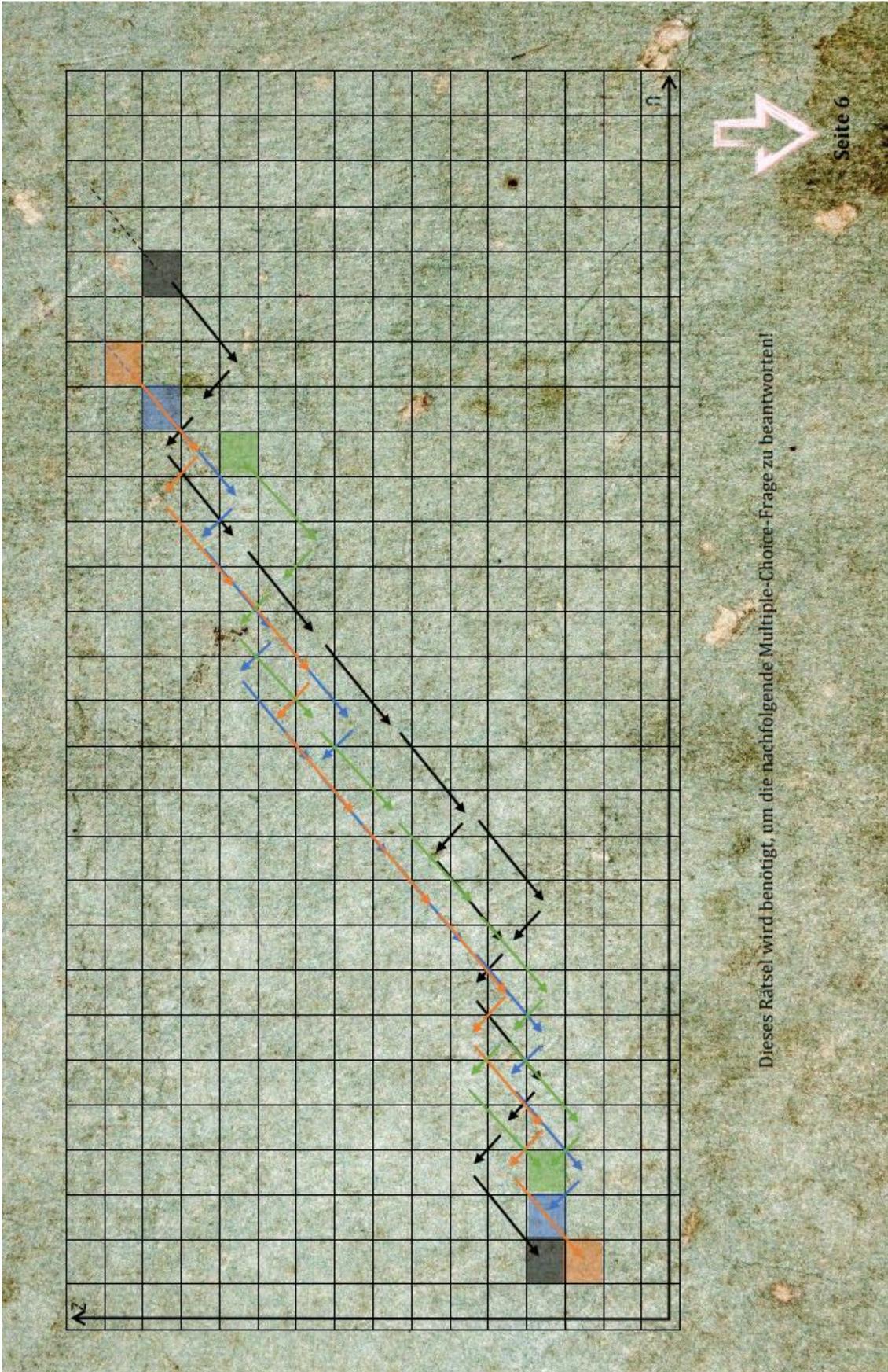
Seite 4

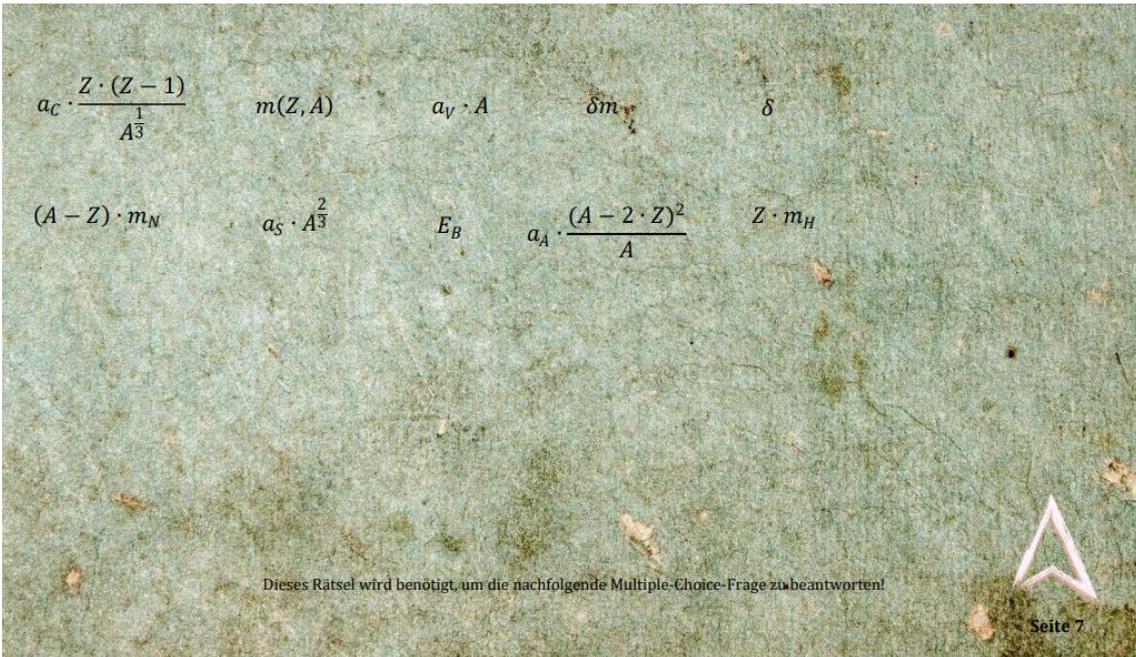
Dieses Rätsel wird benötigt, um die nachfolgende Multiple-Choice-Frage zu beantworten!



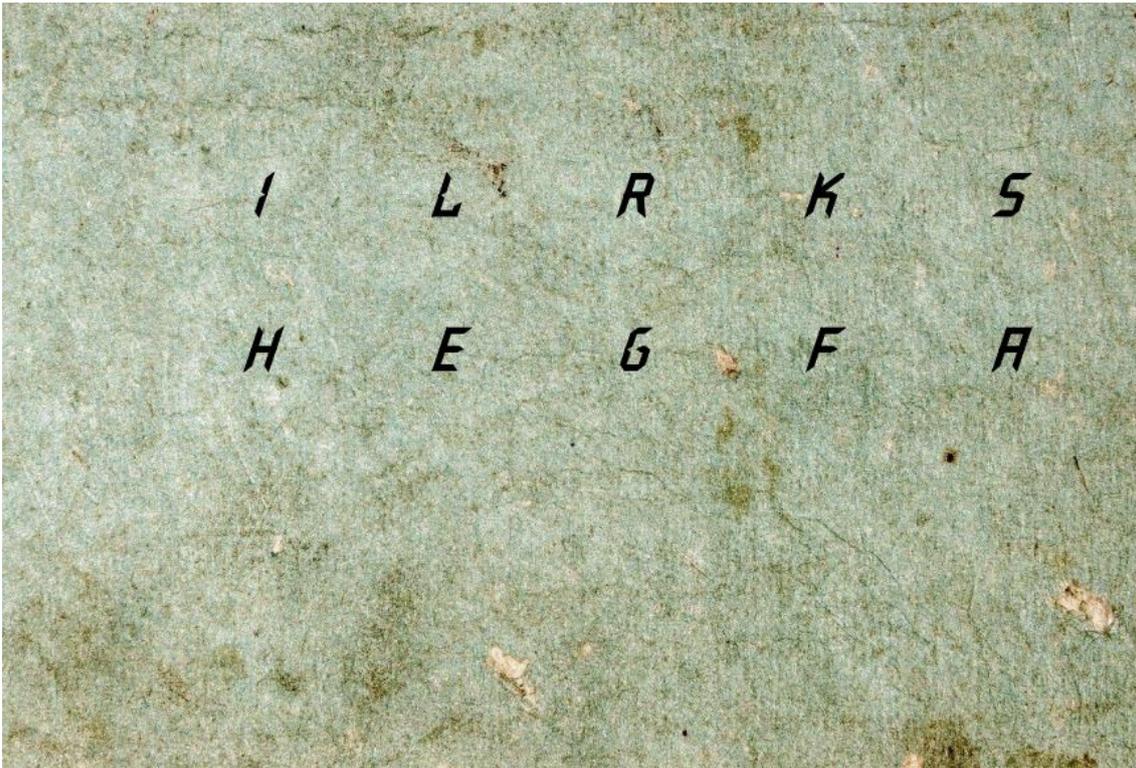
Dieses Rätsel wird benötigt, um die nachfolgende Multiple-Choice-Frage zu beantworten!

Laborbuchseite 6

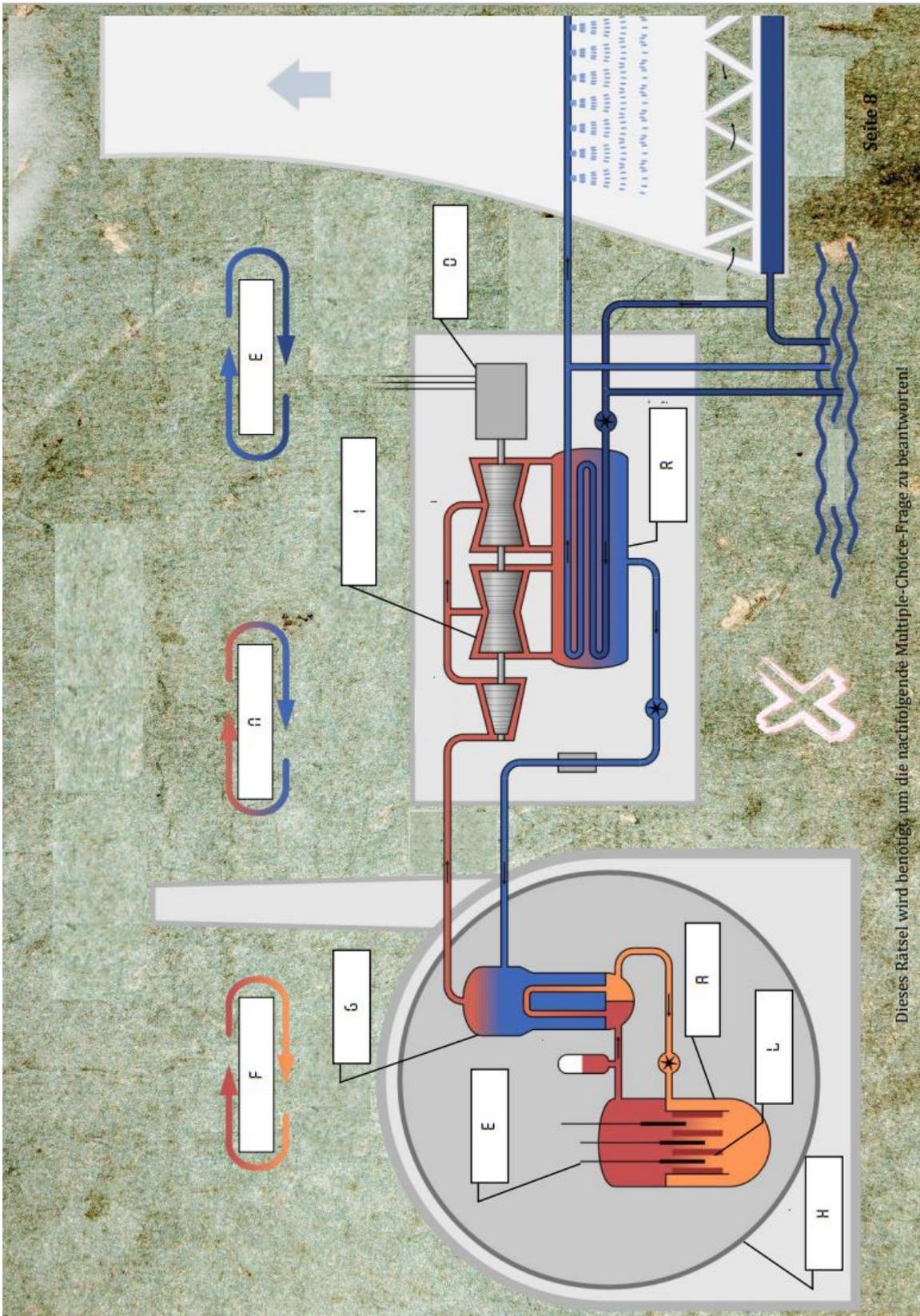




Vorderseite Laborbuchseite 10



Rückseite Laborbuchseite 10



Dieses Rätsel wird benötigt, um die nachfolgende Multiple-Choice-Frage zu beantworten.

Laborbuchseite 13

Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a1/Kernkraftwerk_mit_Druckwasserreaktor.svg/1280px-Kernkraftwerk_mit_Druckwasserreaktor.svg.png

Sonstige Materialien

BAD SCHLEMA - FREITAG, DEN 01. MÄRZ 1991

LIEBE KUMPEL,

MIT DEM HEUTIGEN TAG ENDET EINE ÄRA!

DIE URANFÖRDERUNG DER SOBG WISMUT FINDET SOMIT NACH INSGESAMT 32 JAHREN UND 73.125 TONNEN GEFÖRDERTEN URANERZ, ALLEINE HIER IN SCHACHT 371, EIN TRAUURIGES ENDE.

AUCH WENN EURE ARBEIT, DIE EUCH ÜBER JAHRE STOLZ GEMACHT HAT, VON JETZT AN NICHT MEHR TEIL EURES LEBENS SEIN WIRD, SO LASST MICH EUCH WENIGSTENS NOCH EINES SAGEN:

DIE SCHRECKLICHE GESUNDHEITSGEFAHR DURCH DIE **TODBRINGENDE γ -STRAHLUNG** HAT NUN EIN ENDE! VIEL ZU VIELE KUMPEL HABEN WIR IM LAUFE UNSERER ZEIT BEI DER WISMUT AN DEN **UNSICHTBAREN γ -TOD** VERLOREN, ABER VERGESSEN WERDEN WIR SIE NIE!!!

EIN LETZTES „GLÜCK AUF“

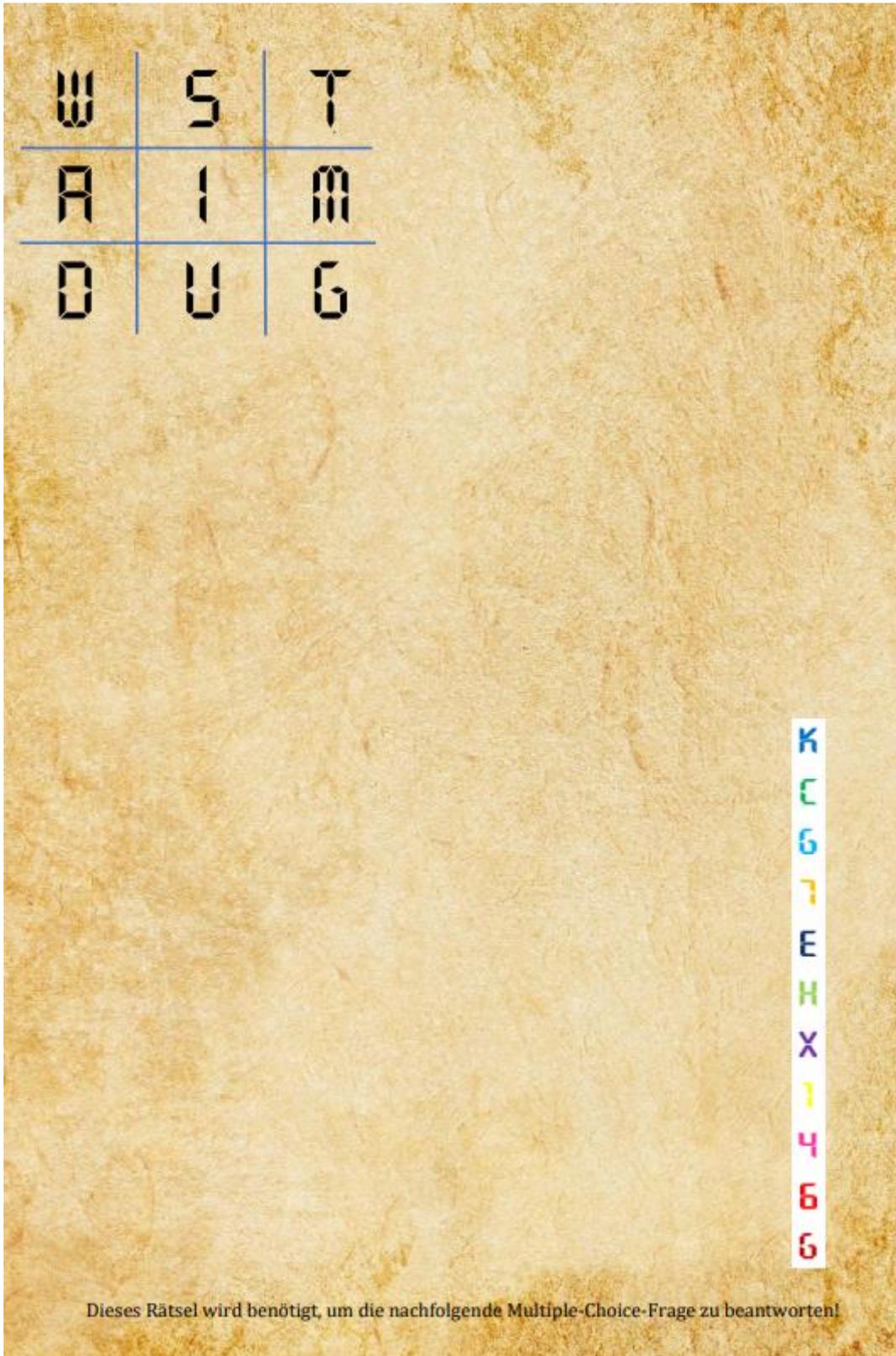
EUER VORSTAND DER

M	S					
S	+	O	+	A	+	G
				T		A

WISMUT



Vorderseite Brief Rätsel Vier



Rückseite Brief Rätsel Vier

Quelle: <https://pixabay.com/de/illustrations/jahrgang-alte-verwendet-papier-1659117/>



Vorderseite Foto 1 Rätsel Zwölf

Quelle: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/65/Reusterhalden.JPG>



Rückseite Foto 1 Rätsel Zwölf



Vorderseite Foto 2 Rätsel Zwölf

Quelle: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/94/Yellowcake_%2803010301%29.jpg/1920px-Yellowcake_%2803010301%29.jpg



Rückseite Foto 2 Rätsel Zwölf

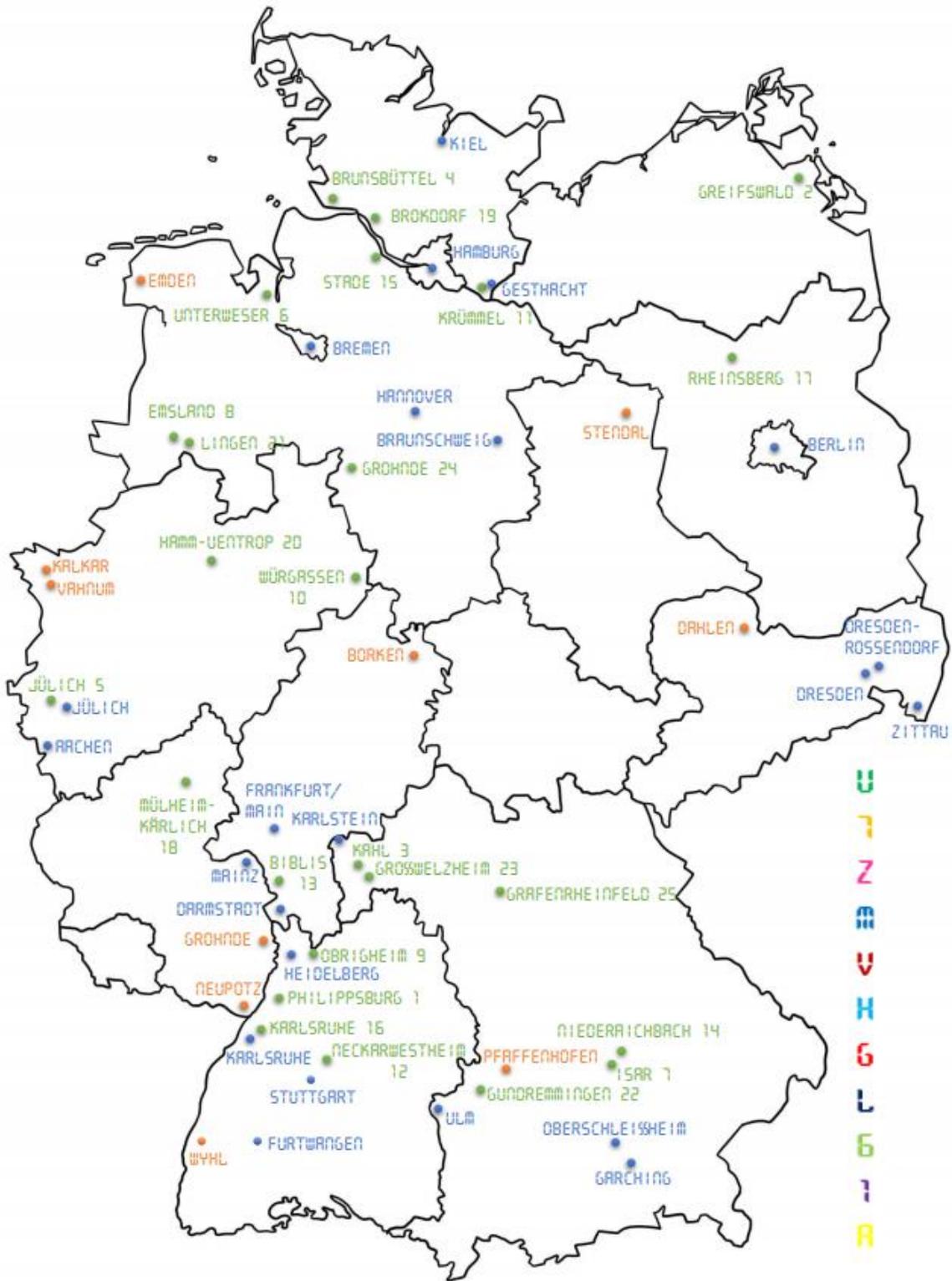


Vorderseite Foto 3 Rätsel Zwölf

Quelle: <https://pixabay.com/de/photos/bergbau-kohle-ruhrgebiet-zeche-1534314/>

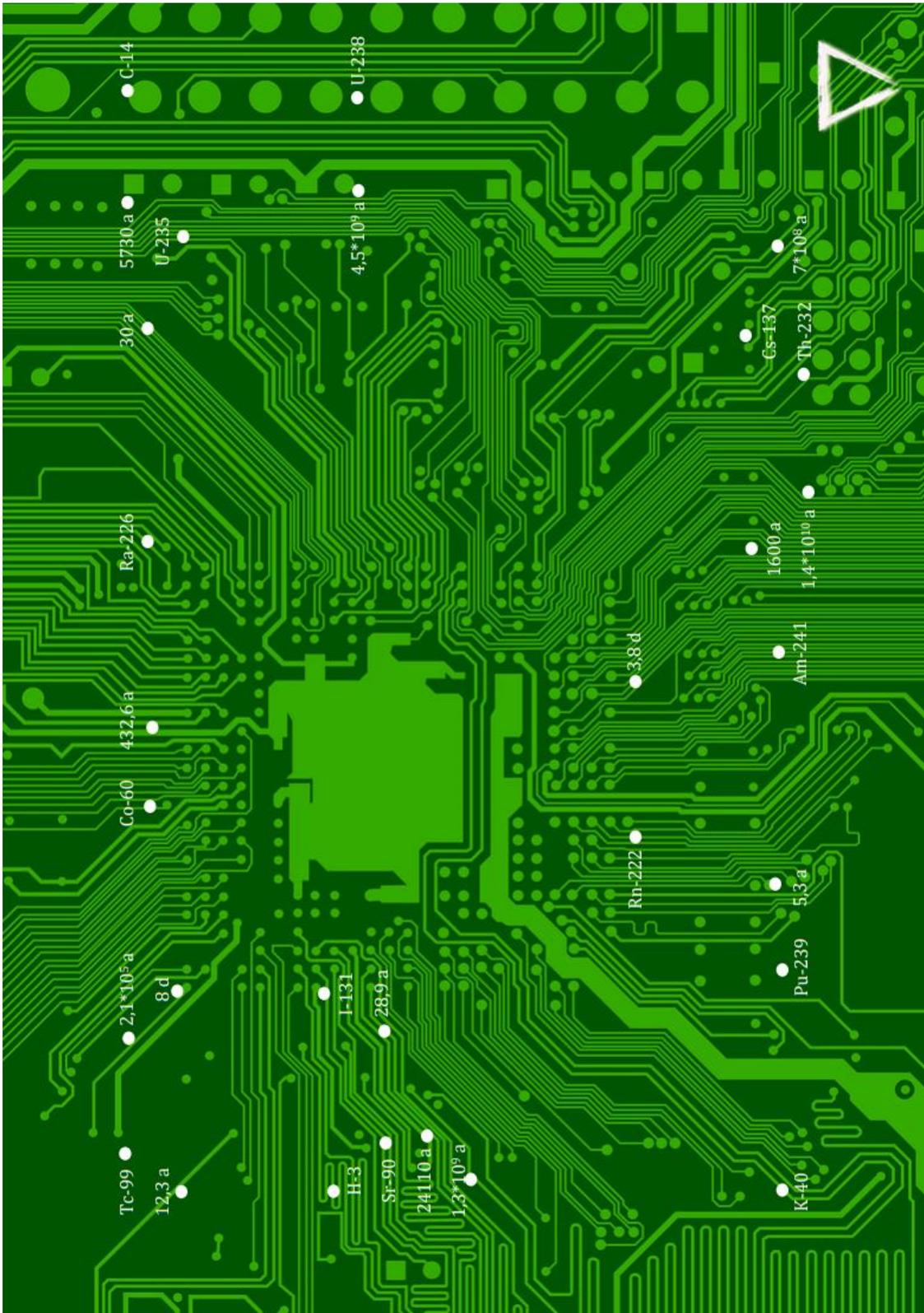


Rückseite Foto 3 Rätsel Zwölf



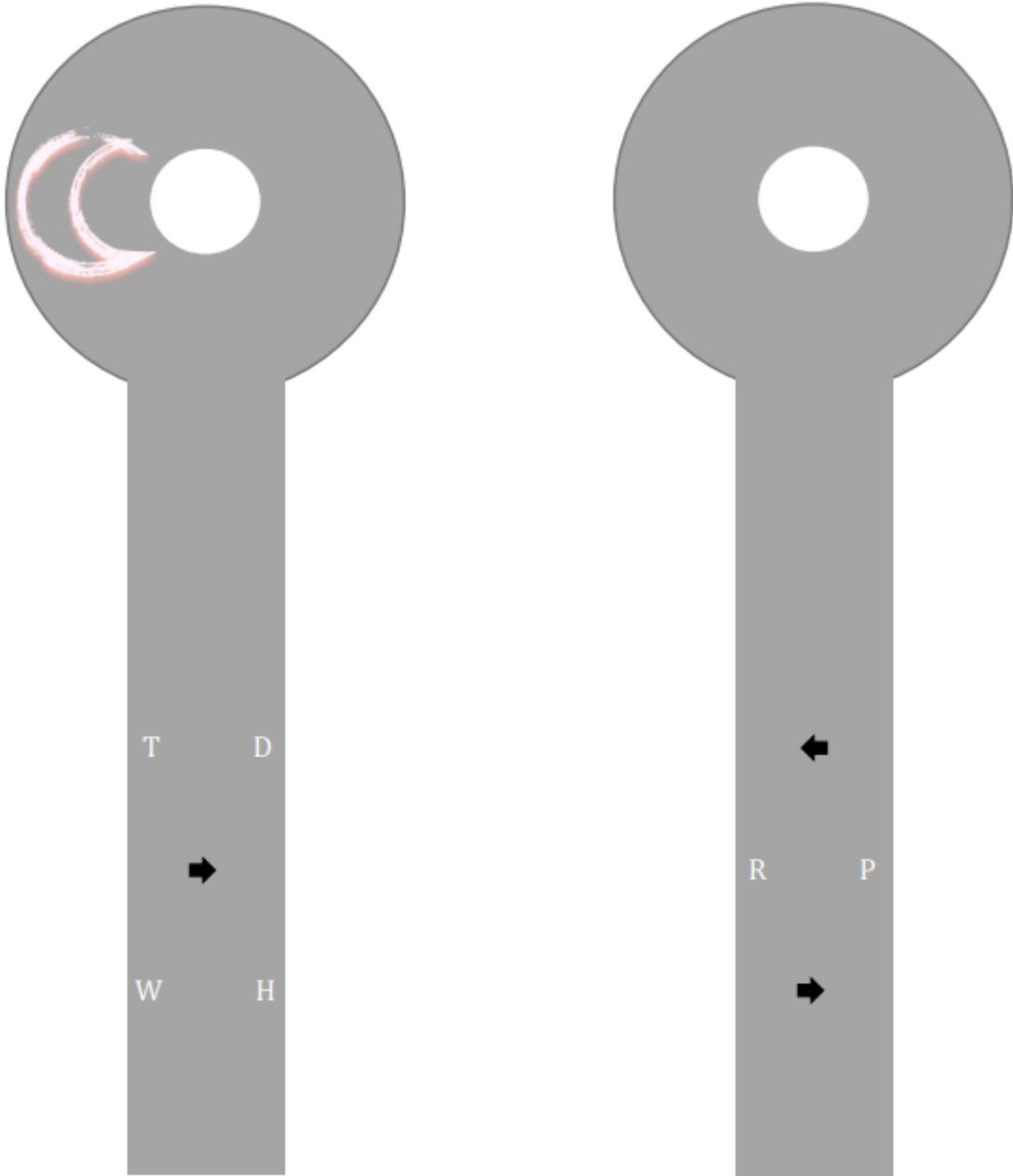
Deutschlandkarte

Quelle Hintergrund: <https://malvorlagen-seite.de/wp-content/uploads/2019/11/karte-staaten-deutschland-bw-blanko-1.jpg>



Schaltkreis Rätsel Fünfzehn

Quelle Hintergrund: <https://pixabay.com/de/vectors/brett-chip-schaltung-elektro-158973/>

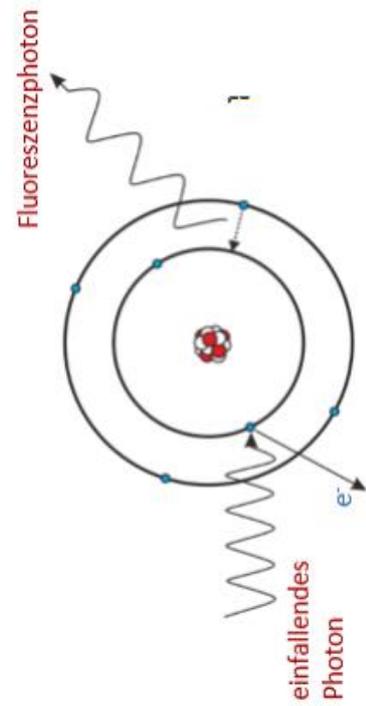
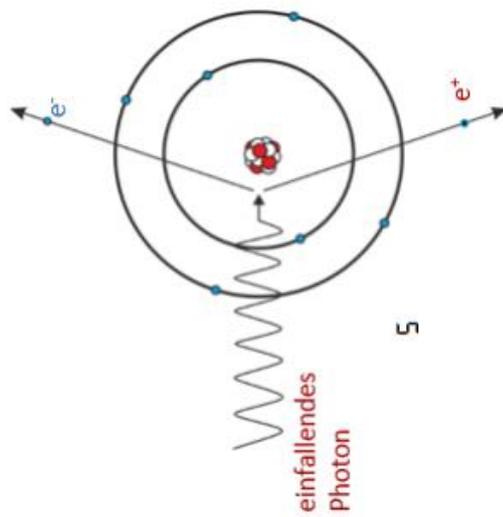
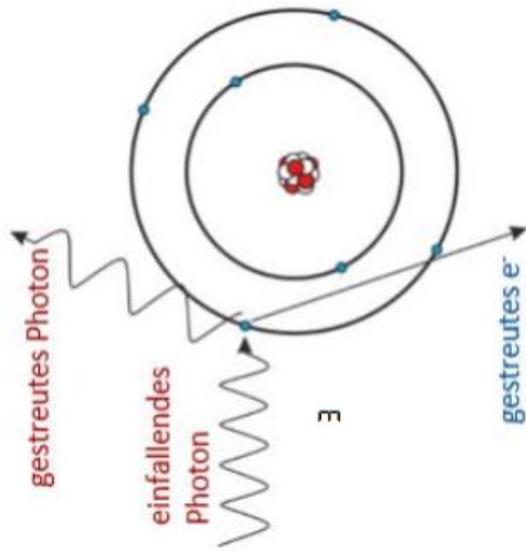


5	5	7	0	4	5	2	8	2	7
6	L	E	8	E	h	8	5	5	9

6	5	7	1	4	2	8	5	7	9
L	8	h	8	h	h	5	L	5	5

5	5	7	7	4	3	4	8	2	7
9	7	5	8	8	4	1	4	5	9

Schlüssel und Schlüsselbart Rätsel Vierzehn



Grafiken Rätsel Sieben



URKUNDE



FOLGENDE SPIELERINNEN UND SPIELER

<input type="text"/>	<input type="text"/>

SIND AM IN
 ERFOLGREICH AUS DEM SCHACHT 377 DER SOG. WISMUT
 ENTKOMMEN!!!

WAS FÜR EINE HERRAUSRAGENDE LEISTUNG UND WELCH EIN
 GLÜCK, DASS IHR ES RECHTZEITIG UND OHNE EINEN
 STRAHLENTOD ZU STERBEN AUS DER MINE GESCHAFFT HABT.

DAFÜR HABT IHR MINUTEN UND SEKUNDEN BENÖTIGT.
 EUER GANZ HAT WÄHREND EURES AUFENTHALTS METRS.
 GEMESSEN. SOMIT HABT IHR EINE WERTUNG VON
 PUNKTEN ERREICHT.

HERZLICHEN GLÜCKWUNSCH EUER

0000 MAXIMILIAN RÜTHER



Urkunde

Spielanleitung



Spielanleitung Seite 1

Quelle Hintergrund: <https://pixabay.com/de/photos/atom-zentral-energie-strahlung-4168906/>

SPIELMATERIAL

211 Karten:

- 26 Rätsel-Karten
- 98 Lösungs-Karten
- 14 Multiple-Choice-Fragen-Karten
- 73 Hilfe-Karten

1 Bauhelm
1 Warnweste
1 Periodensystem
1 Nuklidkarte
1 Kabel
1 Handzählgerät
1 Deutschlandkarte
1 Brief
1 Laborbuch
1 Metallstab

Zusätzlich legt euch bitte noch einige Stifte, Schmierpapier und eine Schere zur Seite.

SPIELVORBEREITUNG

Legt Euch das Laborbuch, das Handzählgerät und das Periodensystem zunächst bereit auf den Tisch. Die restlichen Materialien lasst Ihr zunächst in der Spielkiste. Die Karten sortiert Ihr bitte in die vier Stapel:

- Rätsel-Karten
- Lösungs-Karten
- Multiple-Choice-Fragen-Karten
- Hilfe-Karten

Überprüft, ob die Rätsel-Karten in alphabetischer Reihenfolge sortiert sind. Sortiert die Lösungs-Karten nach Elementen, Orten und Zahlen in alphabetisch aufsteigender Reihenfolge. Die Rätsel-Karten, Lösungs-Karten und Multiple-Choice-Fragen-Karten legt Ihr im Anschluss als Stapel auf den Tisch. Anschließend sortiert Ihr die Hilfe-Karten nach ihren Symbolen. In jedem Stapel müsste es einen 1.Tipp, einen 2.Tipp und eine Auflösung geben, sowie einen 1. Tipp und eine Auflösung für die dazugehörige Multiple-Choice-Frage. Legt euch eine Stoppuhr bereit und startet diese, wenn Ihr am Ende der Anleitung dazu aufgefordert werdet!

SPIELPLAN?

In diesem Spiel gibt es keinen Spielplan. Eure Aufgabe ist es selbst herauszufinden was es im Spiel zu entdecken gibt und wie die Räume aussehen. Am Anfang stehen Euch das Regelheft, das Periodensystem und das Laborbuch zur Verfügung. Um Fortschritte zu erzielen, müsst Ihr in diesem Spiel Rätsel lösen, welche euch durch die Rätsel-Karten näher erklärt werden. Diese bestehen aus einem Logikrätsel und einer Multiple-Choice-Frage. Solltet Ihr ein Rätsel erfolgreich gelöst haben, so erhaltet Ihr eine Lösungs-Karte die Euch zu der nächsten Rätsel-Karte führt. Die restlichen Materialien benutzt Ihr nur, wenn Ihr im Spiel dazu aufgefordert

werdet. Solange bis Ihr durch beispielsweise eine Lösungskarte dazu aufgefordert werdet, bleiben diese in der Spielkiste.

SPIELABLAUF

Das Ziel des Spiels ist es die Rätsel zu lösen und so aus den Räumen zu entkommen. Durch das Spiel begleiten euch die Rätsel-Karten, Multiple-Choice-Fragen-Karten, Lösungs-Karten und Hilfe-Karten. Ein beispielhafter Ablauf eines Rätsels sieht folgendermaßen aus:

Zunächst nehmt Ihr euch die Rätsel-Karte(n) mit den/dem richtigen Buchstaben. Anschließend sucht Ihr euch die Materialien, die zum Lösen des Rätsels benötigt werden, oder schlägt die dazugehörige Seite im Laborbuch auf. Diese Informationen stehen auf der Rätselkarte. Zunächst beschreibt Euch die Rätselkarte das Logikrätsel genauer. Dieses deutet auf die nachfolgende Multiple-Choice-Frage hin. Solltet Ihr Euch für die Multiple-Choice-Frage mit dem richtigen Thema entschieden haben, so ist nun diese zum Lösen des Rätsels zu beantworten. Jede Antwortmöglichkeit der Multiple-Choice-Frage hat eine Zahl oder Buchstaben zugewiesen bekommen. Addiert die Zahlen der Antworten, die Ihr für richtig erachtet und Ihr erhaltet zum Beispiel eine Ordnungszahl des entsprechenden Lösungselements. Mit dem Periodensystem könnt Ihr nun schauen, welches Element sich hinter der Ordnungszahl verbirgt. Auf der Rückseite der Lösungskarten sind Elemente des Periodensystems aufgetragen. Sucht die Lösungskarte mit dem richtigen Element. Auf der Lösungskarte wird beschrieben, welche Rätsel-Karte Ihr Euch

als nächstes nehmen dürft. Solltet Ihr die falschen Antwortmöglichkeiten gewählt haben, so wird euch gesagt, dass auf eurem Geiger-Müller-Zählrohr 1 Mega Count (1 MCounts.) angezeigt wird und, dass Ihr Euch an der Lösung des Rätsels nochmal versuchen sollt. Ein gemessener Mega Count entspricht in dem Spiel einem Klick auf dem Handzählgerät. Obacht! Auch die Logikrätsel können zu der Ordnungszahl beitragen. Sortiert die falschen Lösungs-Karten wieder in den Stapel. Die Anzahl der gemessenen Counts gibt Euch später Auskunft über den Spielerfolg. In diesem Spiel gibt es drei Räume, die Ihr hintereinander verlassen müsst. Jeder dieser Räume besitzt ein eigenes Codierungssystem. In dem ersten Raum sollen die Zahlen der richtigen Antwortmöglichkeiten addiert werden. In dem zweiten Raum liefern Euch die Zahlen ein spezielles Radionuklid und es werden auch hier die Zahlen der Antwortmöglichkeiten zu einer Ordnungszahl addiert. Jedoch wird auch eine weitere Zahl benötigt um zwischen den Isotopen desselben Elements unterscheiden zu können. Anschließend schaut Ihr nach der Halbwertszeit des Lösungsnuklids und findet so die richtige Lösungskarte. In dem letzten Raum werden euch Zahlen oder Buchstaben durch die Rätsel geliefert, die euch zu den Standorten der deutschen Kernkraftwerke führen. Die Namen der Kraftwerksstandorte leiten Euch dann aus dem letzten Raum hinaus.

BENÖTIGT IHR HILFE?

Solltet Ihr bei den Rätseln Probleme bekommen, so könnt Ihr Hilfe-Karten verwenden. Jedes Logikrätsel und die dazugehörigen Hilfe-Karten haben jeweils ein Symbol zugewiesen bekommen, sodass Ihr

wisst welche Hilfe-Karte zu welchem Rätsel gehört. Zu jedem Logikrätsel gibt es jeweils 3 Hilfe-Karten. Solltet Ihr den ersten Tipp benutzen, so steigt die Anzeige eures GMZ's um 1 Mega Count (ein Klick auf dem Handzählgerät) und solltet Ihr den zweiten Tipp ebenfalls gebrauchen, so steigt die Anzeige um weitere 2 Mega Counts (zwei Klicks auf dem Handzählgerät). Die dritte Hilfe-Karte ist die Auflösungskarte, wo Euch die Lösung des Rätsels gegeben wird. Solltet Ihr diese benutzen, so steigt die Anzeige nochmals um sogar 3 Mega Counts (drei Klicks auf dem Handzählgerät). Auch bei den Multiple-Choice-Fragen können Probleme auftreten. Daher habt Ihr zu jeder Multiple-Choice-Fragen-Karte auch zwei Hilfe-Karten, diese sind jeweils mit dem behandelnden Thema der Multiple-Choice-Frage gekennzeichnet. Die erste Hilfe-Karte gibt einen Hinweis darauf, wie viele der Antwortmöglichkeiten richtig sind, oder schließt eine Antwortoption aus. Solltet Ihr diese benutzen, so steigt die Anzeige Eures GMZ's auch hier um 1 Mega Count. Die zweite Hilfe-Karte ist die Auflösung der Multiple-Choice-Frage. Für die Benutzung dieser Karte steigt die Anzahl der Mega Counts erneut um 3.

EINZELNE SPIELKARTEN

Rätsel-Karten: Diese Karten sind Gelb und mit Buchstaben gekennzeichnet. Sie erklären Euch das Logikrätsel genauer. Außerdem zeigen sie Euch auf, welche Gegenstände Ihr benötigt und welche Seite im Laborbuch genutzt werden soll, um das Rätsel zu lösen. Die Logikrätsel deuten auf das Thema der Multiple-Choice-Frage hin und können auch selbst zu der Lösungszahl beitragen,

sodass Ihr nach der Rätsel-Karte die Multiple-Choice-Fragen-Karte nehmt, die das richtige Thema behandelt. In einigen Fällen bekommt Ihr Rätsel-Karten auf denen kein genauer Auftrag steht. Diese behaltet Ihr solange, bis sie von einer anderen Rätsel-Karte thematisiert werden. Jedes Rätsel ist mit einem Symbol versehen, welches sich auf der Rückseite der Rätsel-Karten zu finden ist.

Multiple-Choice-Fragen-Karten: Diese Karten sind grau und tragen das behandelnde Thema auf der Vorderseite. Bitte gleicht zunächst ab, ob Ihr die richtige Multiple-Choice-Fragen-Karte gezogen habt. Die richtige Rätsel-Karte die zur der Multiple-Choice-Fragen-Karte führt, ist durch das dazugehörige Symbol auf der Multiple-Choice-Fragen-Karte gekennzeichnet.

Jede der Antwortmöglichkeiten hat eine Zahl zugewiesen bekommen, die Ihr dann zu einer Ordnungs- oder Massenzahl addieren sollt. Es können aber auch nur einzelne Buchstaben oder Wortteile vorhanden sein, die Ihr zu vollständigen Lösungswörtern zusammensetzen sollt. In dem Spiel gibt es auch Worträtsel, in der Form das entschieden werden muss, ob der Satz richtig oder falsch ist. Für beide Möglichkeiten sind dann Buchstaben vorgesehen.

Lösungs-Karten: Diese Karten sind grün und in der Regel sind auf der Vorderseite dieser Elemente aufgetragen. Übersetzt die Ordnungszahl, die Ihr aus dem Rätsel bekommen habt in das Element und sucht die Lösungskarte mit dem richtigen Element heraus. In dem zweiten Raum werdet Ihr ein Element und die dazugehörige Massenzahl herausbekommen. Schaut in der Nuklidkarte nach, welche Halbwertszeit dieses Nuklid hat und sucht euch die Lösungskarte mit dieser Halbwertszeit raus. Im letzten

Raum tragen die Lösungskarten dann die Namen der deutschen Kernkraftwerke.

Hilfe-Karten: Diese Karten sind rot und tragen auf der Vorderseite das Symbol des Rätsels. Bei Benutzung steigt die Anzeige Eures GMZ's um folgende Werte:

- 1. Tipp der Logikrätsel = 1 MCts.
- 2. Tipp der Logikrätsel = 2 MCts.
- Auflösung der Logikrätsel = 3 MCts.
- 1. Tipp der Multiple-Choice-Fragen = 1 MCts.
- Auflösung der Multiple-Choice-Fragen = 3 MCts.

WANN ENDET DAS SPIEL?

Das Spiel endet, wenn Ihr das letzte Rätsel gelöst habt. Startet die Stoppuhr nachdem Ihr das Regelheft durchgelesen habt. In folgender Tabelle könnt ihr schauen, wie gut ihr abgeschnitten habt.

	< 10 MCts.	< 30 MCts.	< 50 MCts.	< 70 MCts.	> 70 MCts.
< 100 min.	10 Punkte	8 Punkte	7 Punkte	6 Punkte	5 Punkte
< 120 min.	9 Punkte	7 Punkte	6 Punkte	5 Punkte	4 Punkte
< 140 min.	8 Punkte	6 Punkte	5 Punkte	4 Punkte	3 Punkte
≤ 180 min.	7 Punkte	4 Punkte	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte
> 180 min.	6 Punkte	3 Punkte	3 Punkte	2 Punkte	1 Punkt

1-3 Punkte	Ihr solltet euch dringend nochmal die Unterlagen zu den kernphysikalischen Grundlagen und der Radioaktivität intensiv anschauen. Ihr seid noch nicht gut genug auf die Prüfung vorbereitet.
4-6 Punkte	Ihr solltet die Unterlagen zu den kernphysikalischen Grundlagen und der Radioaktivität nochmal sorgfältig lesen. Ihr würdet die Prüfung vermutlich gerade so bestehen, aber sicher ist sicher!
7-8 Punkte	Ihr habt eine solide Leistung dargeboten. Für die Prüfung seid ihr gut vorbereitet. Dennoch solltet ihr euch noch einmal einige Aspekte genauer anschauen.
9-10 Punkte	Ihr habt eine hervorragende Leistung gezeigt und habt bewiesen, dass ihr die Inhalte zu den Grundlagen der Kernphysik und der Radioaktivität bestens beherrscht. Ihr habt euch die Urkunde wirklich verdient!

NOCH EIN LETZTER TIPP

Ihr könnt die Materialien beschriften, falten oder zerschneiden. Das ist erlaubt und es wird im Laufe des Spiels auch notwendig. Legt das verwendete Material von erfolgreich gelösten Rätseln beiseite, so behaltet Ihr einen besseren Überblick.

DANN KANN ES JETZT ENDLICH LOSGEHEN...

...flüsterst du deinen Freunden zu, als Ihr euch heimlich im Dunkeln aus der Jugendherberge schleicht. „Psssst!“ Sagst du zu deinem besten Freund, denn immerhin dürfen eure Lehrer nicht aufwachen. Als Ihr draußen vor dem Gebäude steht, blendet euch die Leuchtreklame mit der Aufschrift „Jugendgästehaus Hartenstein“. Ein Freund fragt: „Und was wollen wir jetzt machen? In diesem Kuhdorf gibt es doch eh nichts zu sehen...“. Du überlegst kurz, doch dann erinnerst du dich: „Hat Herr Rüter auf der Busfahrt nicht irgendetwas von einer alten Mine und so nem Wismut Zeugs erzählt?“. Keiner antwortet dir, doch dann brüllt auf einmal jemand: „Ey Leute, das da hinten schaut doch aus wie so ein riesen Gerüst. Da geht's bestimmt in die Mine!“ Ihr schaut euch kurz an und sagt dann im Chor: „Worauf warten wir noch...“

Kurze Zeit später habt Ihr den riesigen Minenfahrstuhl erreicht. Die Gebäude sind heruntergekommen, Fenster eingeschlagen, die Wände mit Graffiti beschmiert und weit und breit ist keine einzige Menschenseele zu sehen. Irgendwie sieht das alles andere als vertrauenserweckend aus, denkst du dir insgeheim, lässt dir aber natürlich vor deinen Freunden nichts von deiner Unsicherheit anmerken. „Also los geht's Leute!“ Ihr wagt euch in die große Halle. Es ist stockdunkel und Ihr könnt alle nicht das Geringste sehen, bis einer auf die Idee kommt die Handytaschenlampe einzuschalten. Der Lichtstrahl fährt durch den leeren Raum und dann seht Ihr ihn, den verrosteten Eingang zum Fahrstuhl. Langsam schiebst du das

quietschende Gitter beiseite und wagst einen ersten Schritt hinein. „Schaut gut aus!“ brüllst du deinen Freunden zu. Nach und nach steigen alle in den Fahrstuhl ein. „Ob das Ding noch fährt?“ fragt dein bester Freund. „Was ist das denn für ein Knopf?“ hörst du jemanden sagen, doch als du dich umdrehst ist es schon zu spät....

Mit einem ohrenbetäubenden Lärm saust der Fahrstuhl hinab in die Tiefe. Ihr schreit, doch der Fahrstuhl fällt weiter bis er plötzlich nach einer gefühlten Ewigkeit abrupt und mit einem lauten Knall zum Stehen kommt...

„Geht's allen gut?“ fragst du in die Runde als Ihr alle langsam aus dem Wrack des Fahrstuhls krabbelt. „Wo sind wir hier?“ fragt jemand aus der Runde. Ihr seht euch um, doch Ihr könnt nichts erkennen. Als du deine Handytaschenlampe anmachst wirst du ganz bleich im Gesicht. Vor dir auf dem Boden liegt ein Schild auf dem geschrieben steht: „Schacht 371 SDAG Wismut, Gesamtteufe 1803 m“. „Wieso kommt mir der Name nur so bekannt vor?“ fragt dich dein bester Freund. „Das ist doch nur ne alte DDR-Mine!“ brüllt jemand. Und dann fällt es dir wieder ein. Herr Rüter hat dir doch neulich erzählt, dass in dieser Region zu Zeiten der DDR im großen Stil Uranbergbau betrieben wurde. Und spätestens jetzt ist es klar, Ihr müsst hier so schnell wie möglich raus!!!

Nachdem ihr die erste Panik überwunden habt und allmählich alle wieder einen klaren Kopf haben, wagt Ihr euch weiter in den Minenschacht vor. Auf dem Boden, nur ein paar Schritte von dem Schild entfernt, findet ihr die Rätselkarte „B“. Startet nun die Stoppuhr und beginnt mit dem ersten Rätsel!

Handreichungen für die Lehrkraft



Handreichungen Seite 1

Quelle Hintergrund: <https://pixabay.com/de/illustrations/radioaktiv-gefahr-nukleare-giftig-2003201/>

EINBETTUNG DES SPIELS IN DIE UNTERRICHTSEINHEIT

Im Land Niedersachsen befindet sich der Themenkomplex Atom- und Kernphysik ganz am Ende der Unterrichtszeit in der Sekundarstufe II. Genauer gesagt ist diese Unterrichtseinheit für das zweite Semester im dreizehnten Schuljahr geplant. Erfahrungsgemäß fällt dieses vierte und letzte Semester der Qualifikationsphase recht kurz aus. In den letzten Jahren betrug die Dauer dieses Semesters zwischen acht und zehn Wochen. Diese kurze Zeitspanne stellt nicht nur die Lehrer*innen sondern auch die Schüler*innen vor große Herausforderungen. Aus genau diesem Grund habe ich das Exit-Spiel entwickelt, um sowohl die Lehrer*innen in der Planung der Unterrichtseinheit, als auch die Schüler*innen in den finalen Wochen ihres Lernprozesses zu unterstützen. Das Spiel ist als Abschluss der Unterrichtseinheit zur Kernphysik geplant, damit die Schüler*innen das erlernte Wissen nicht nur wiederholen, sondern auch anwenden, vernetzen und transferieren können. Es ist daher unbedingt notwendig, dass die Unterrichtseinheit bereits abgeschlossen und alle Inhalte aus Kapitel 5.2. abgehandelt worden sind. Sollte dies nicht der Fall sein, könnte es während der Bearbeitung einiger Rätsel zu Problemen auf Seiten der Spielenden

kommen. Neben dem Zweck der Wiederholung hat das Spiel auch die Funktion, der Überprüfung des Lernfortschritts der Schüler*innen. Je nach Spielergebnis, unter anderem auch schon während des Spiels, wird den spielenden Schüler*innen bewusst werden, ob sie die behandelten und abiturrelevanten Inhalte ausreichend beherrschen, oder ob sie in den letzten Wochen der Abiturvorbereitung noch Inhalte nacharbeiten müssen. Aus genau diesen Gründen ist das Spiel nur nach der abgeschlossenen Unterrichtseinheit einsetzbar und daher leider nicht so flexibel nutzbar, wie andere für den Physikunterricht konzipierte Spiele.

IM VORANGEGANGENEN UNTERRICHT BEHANDELTE INHALTE

Der Kerngedanke des Exit-Spiels ist es, eine Methode zur Wiederholung und Vernetzung von erlerntem Wissen darzustellen. Damit das Spiel diesem Zweck gerecht werden kann, müssen die zu wiederholenden Inhalte im vorangegangenen Unterricht auch behandelt worden sein. Die Grundlagen des Spiels sind deckungsgleich zu den inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen des niedersächsischen Kerncurriculums. Jedoch ist es je nach Schule und Lehrkraft durch die schulinternen Curricula möglich, dass einige Aspekte stärker und andere weniger ausführlich im Unterricht behandelt werden. Um diesem Prozess

entgegen zu wirken, habe ich eine stichwortartige Zusammenfassung der wichtigsten Inhalte nachfolgend dargestellt. Eine ausführlichere Darstellung der im Spiel abgehandelten Themenfelder stellt diesbezüglich das Kapitel drei dar. In diesem wird in die wichtigsten physikalischen Grundlagen eingeführt und auf diverse Schulbücher und Fachliteratur verwiesen.

Nomenklatur von Atomkernen: Proton, Neutron, Nukleon, Massenzahl, Kernladungszahl, Isobar, Isomer, Isoton, Isodiapher, Isotop

Alpha-Strahlung: Bragg-Peak, Heliumkern, Abschirmung durch Papier, Reichweite in Luft, typische Energie, Zerfallsgleichung

Beta-Strahlung: Unterscheidung & Zerfallsgleichung für Electron Capture, Beta-Minus, Beta-Plus-Zerfall,

Kontinuierliches Energiespektrum und Neutrino, Abschirmung durch Alu/Plexiglas, Reichweite in Luft, typische Energie

Gamma-Strahlung: Photon, Energieabgabe nach Kernzerfall, Reichweite in Luft, Abschirmung

Nuklidkarte: Farbgebung der unterschiedlichen Zerfälle, Unterschied stabile und primordiale Nuklide, Nuklide mit mehreren Zerfallsarten (welcher tritt häufiger auf, Bsp. K-40)

Detektion ionisierender Strahlung: Aufbau und Funktionsweise von Geiger-Müller-Zählrohren (Totzeit, Arbeitsspannung), Aufbau und Funktionsweise von Halbleiterdetektoren

Strahlungswechselwirkung mit Materie: Photo-Effekt, Compton-Effekt, Paarbildung, Bremsstrahlung (Abschirmung als sekundäre Strahlungsquelle)

Radioaktiver Zerfall: Zerfallsgleichung, Halbwertszeit, Zerfallskonstante, Umgang mit Formeln, Durchführung einfacher Berechnungen

Zerfallsreihen: Kenntnis aller vier natürlichen Zerfallsreihen, 4n-Schema

Bindungsenergie des Atomkerns: Tröpfchenmodell, Weizsäcker Massenformel, Massendefekt, Massenüberschuss

Neutroneninduzierte Kernspaltung: Zeitlicher Ablauf, thermische & schnelle Neutronen (welche können was spalten, Stichwort Moderation), Energiegewinn aus U-235 Spaltung

Uranium Fuel-Cycle Frontend: Yellow-Cake, Pechblende, SDAG Wismut und Uranproduktion in Deutschland

Kernkraftwerk: Aufbau und Funktionsweise westlicher Druckwasserreaktoren, Multibarrierenprinzip, Pu-239 Spaltung

Uranium Fuel-Cycle Backend: Endlagerung in Deutschland, Partitionierung, Transmutation

Rüthers' liebste Radionuklide: Kenntnis wichtiger Radionuklide und deren Halbwertszeiten, alternativ: sicherer und schneller Umgang mit der Nuklidkarte, um passende Halbwertszeiten zu Radionukliden zügig zu finden

ZEITLICHER UMFANG DES SPIELS

Konzipiert wurde das Spiel für eine Unterrichtsdoppelstunde von 90 Minuten. In der Erprobungsphase hat sich allerdings recht schnell herauskristallisiert, dass die Spielenden einen Bereich von 120-180 Minuten Spielzeit benötigen. Es darf aber nicht vernachlässigt werden, dass es sich bei den Probanden um besonders motivierte und erfahrene Spielende von Exit-Spielen handelte. Diese haben versucht, das Spiel möglichst ohne, oder wenn dann nur mit sehr wenigen Hilfe-Karten zu beenden. Diese Taktik hat die Spielzeit in allen Fällen sehr in die Länge gezogen. Vermutlich werden Schüler*innen dieses Verhalten nur sehr bedingt an den Tag legen, sodass sich ihre Spielzeit immens reduzieren wird und viel näher an den gewünschten 90 Minuten liegen wird. Weiterhin ist das Wissen den Schüler*innen noch viel präsenter als besagten Proband*innen. Auch diese Tatsache wird die Spielzeit weiter verkürzen. Dennoch ist es nicht auszuschließen, dass eine Doppelstunde für die Bearbeitung des Spiels nicht ausreicht. Hierfür wurde das Spiel

in drei einzelne Räume und ein finales Rätsel unterteilt, um Spielunterbrechungen gewährleisten zu können. Sollte es absehbar sein, dass das Spiel in einer Doppelstunde nicht zu Ende gespielt werden kann, können die Lehrer*innen es nach dem erfolgreichen Verlassen eines jeden Raumes unterbrechen und zu gegebener Zeit fortsetzen. Diese Zerlegung ermöglicht es, das Spiel flexibel im Unterricht einzusetzen, ganz unabhängig von der Art des Kurses (Kurse auf erhöhtem und grundlegendem Anforderungsniveau unterscheiden sich in Niedersachsen in zwei Semesterwochenstunden) und der Bearbeitungsgeschwindigkeit der Schüler*innen.

ERNEUTE VERWENDUNG DES SPIELS UND NACHPRODUKTION DES MATERIALS

Exit-Spiele zeichnen sich durch die nur einmalige Verwendbarkeit aus, da nach dem Spiel nicht nur alle Rätsel und deren Lösungen den Spielenden bekannt sind, sondern oftmals auch viele Spielmaterialien bis auf ihre Unkenntlichkeit hin bearbeitet wurden. Auch dieses Spiel weist beide Merkmale auf, jedoch wird zumindest ein Problem, welches daraus resultiert, durch das System Schule wieder ausgeglichen. Die Lösungen sind den Spielenden auch in diesem Spiel nach einmaligem Benutzen bekannt,

allerdings kommt es der Lehrkraft zu Gute, dass jedes Jahr ein oder mehrere weitere Kurse von Schüler*innen in den dreizehnten Jahrgang kommen und somit eine neue potentielle Gruppe von Spielenden gefunden wurde. Dies hat zum Vorteil, dass die Lehrer*innen das Spiel jedes Jahr aufs Neue benutzen können, und es nicht nach einmaligem Benutzen weggeschmissen werden muss. Die Nachproduktion von Materialien ist jedoch auch in diesem Spiel nicht zu vermeiden. Jedoch habe ich versucht, die Menge an nachzuproduzierendem Material auf ein Minimum zu reduzieren. Nachfolgend findet sich eine Liste allen Materials, dass für eine erneute Nutzung nachproduziert werden muss. Alles nicht aufgelistete Material kann ohne weitere Bearbeitung erneut verwendet werden.

Kategorie	Nachzuproduzierendes Material
Rätsel-Karten	Karten N & V Weiterhin kann es sein, dass die Spielenden auch andere Karten zerschnitten, gefaltet oder beschriftet haben, sodass diese ebenfalls nachproduziert werden müssen.

Laborbuch	Das komplette Laborbuch muss in der Regel nachproduziert werden. Sollten einige Seiten nicht bearbeitet worden sein, so können diese selbstverständlich erneut verwendet werden.
Sonstiges Material	Der Brief, die Deutschlandkarte und die drei Bilder müssen nachproduziert werden, sofern die bunten Farbcodes ausgeschnitten worden sind. Sind diese nicht zerschnitten worden, kann auch dieses Material erneut verwendet werden.

WEITERFÜHRENDE BEMERKUNGEN DES AUTORS

Liebe Lehrerinnen und Lehrer,
dieses Spiel und alle Inhalte dieser Broschüre sind Teil folgender Abschlussarbeit:

Onno Maximilian Rütter. *Erarbeitung eines didaktischen Instruments zur Festigung von Lehrinhalten zu Radioaktivität in der Sekundarstufe II*. Bachelorarbeit Physik. Leibniz Universität Hannover. Hannover 2020.

Alle Kapitelangaben in dieser Broschüre beziehen sich auf die oben benannte Abschlussarbeit. In dieser wird ebenfalls in einem zusätzlichen Kapitel auf die physikalischen Grundlagen eingegangen, die in diesem Spiel behandelt werden. Dieses Kapitel enthält Hinweise auf weiterführende Literatur zu Themenfeldern, die in dem Spiel von Bedeutung sind, im regulären Physikunterricht der gymnasialen Oberstufe allerdings nur selten zur Sprache kommen. Hierzu zählen unter anderem das Tröpfchenmodell und die Kernbindungsenergie, die Funktionsweise und Charakteristika deutscher Druck- und Siedewasserkernreaktoren, sowie der Uran-Brennstoffkreislauf. Des Weiteren wird anschließend an diese Abschlussarbeit eine weitere verfasst, in der adäquate Unterrichtsmaterialien zu den angesprochenen Themenfeldern entwickelt werden, um die Lehrer*innen dahingehend in der Unterrichtsplanung dieser Einheiten zu unterstützen und sicherzustellen, dass alle Inhalte, die in dem Spiel auftauchen, auch tatsächlich ausführlich genug behandelt wurden, sodass die Spielenden auf keine gravierenden Probleme in der Bearbeitung des Spiels treffen sollten.

Sollten Sie oder Ihre Kolleg*innen als Lehrkräfte Interesse an den besagten Abschlussarbeiten haben, so können alle angesprochenen Informationen der Homepage des Instituts für Radioökologie und

Strahlenschutz der Leibniz Universität Hannover unter folgender URL entnommen werden: www.irs.uni-hannover.de

Sofern Sie weitere Fragen, Anmerkungen oder den Wunsch haben das Spiel für Ihre eigene Schule nachzubauen, so können Sie sich für den Erhalt der Abschlussarbeiten und der Vorlagen für die Spielmaterialien gerne an die nachfolgenden Personen wenden.

Autor und Entwickler des Spiels:

Onno Maximilian Rüther, E-Mail: onno.m.ruether@gmail.com

Institutsleitung und Betreuung der Abschlussarbeiten:

Prof. Dr. Clemens Walther, E-Mail: walther@irs.uni-hannover.de

Dr. Jan-Willem Vahlbruch, E-Mail: vahlbruch@irs.uni-hannover.de

Ich freue mich, dass Sie den Mut aufbringen und den Aufwand nicht scheuen das Spiel mit Ihren Schüler*innen auszuprobieren! Für die Erkundung des Schachtes 371 der ehemaligen SDAG Wismut wünsche ich Ihren Schüler*innen viel Erfolg und hoffe, dass sie rechtzeitig dem strahlenden Erbe der DDR entkommen können.

Ihr Onno Maximilian Rüther

