



Leibniz Universität Hannover

Institut für Strahlenschutz und Radioökologie

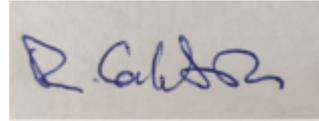
Bachelorarbeit

**Die Konzeption und Umsetzung eines Lernspiels zum Thema natürliche
Radioaktivität für die Sekundarstufe II**

Vorgelegt von: Rubén Calderón Mateos
Matrikelnummer: 10002174
Abgabetermin: 08. März 2021
Erstprüfer: Prof. Dr. Clemens Walther
Zweitprüfer: Dr. Jan-Willem Vahlbruch

Eigenständigkeitserklärung

„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, 08. März

Rubén Calderón Mateos

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	8
2. SPIELEN	9
2.1 BEGRIFFSERKLÄRUNG	9
2.2 SPIELEN IN DER SCHULE	11
2.3 SPIELDIDAKTIK	13
2.3.1 DIE GESTALTUNG UND ORGANISATION DER SACHLICHEN UMWELTGEGEBENHEITEN	14
2.3.2 DIE SOZIALEN INTERAKTIONSBEDINGUNGEN	16
2.3.3 DIE ROLLE DES PÄDAGOGEN	17
2.4 EXIT IN DER SCHULE	19
3. PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN	21
3.1 GRUNDZÜGE DER KERNPHYSIK	21
3.1.1 NOMENKLATUR DER KERNE	21
3.1.2 NUKLIDKARTE	21
3.1.3 DER RADIOAKTIVE ZERFALL	22
3.1.4 BEGRIFFE IM STRAHLENSCHUTZ	22
3.1.4.1 Aktivität	22
3.1.4.2 Effektive Dosis	22
3.1.4.3 Dosisleistung	24
3.2 NATÜRLICHE RADIOAKTIVITÄT	24
3.2.1 HERKUNFT DER NATÜRLICHEN RADIONUKLIDE	24
3.2.2 TERRESTRISCHE STRAHLUNG	25
3.2.3 RADON	25
3.2.4 INGESTION	26
3.2.5 KOSMISCHE STRAHLUNG	27
3.2.6 ÜBERBLICK DURCHSCHNITTLICHER STRAHLUNGSWERTE	29
4 DAS EXIT-SPIEL ZUR NATÜRLICHEN RADIOAKTIVITÄT	30
4.1 DAS SPIELKONZEPT	30
4.2 DAS SPIELMATERIAL	32
4.3 DIE SPIELVORBEREITUNG	32
4.4 DER SPIELABLAUF	33
4.5 DIE HANDLUNG	34
4.6 VORSTELLUNG DER EINZELNEN RÄTSEL	34
4.6.1 RÄTSEL 1: TERRESTRISCHE RADIONUKLIDE	35
4.6.2 RÄTSEL 2: TERRESTRISCHE STRAHLUNG	38
4.6.3 RÄTSEL 3: RADON, THORON UND ACTINON	40
4.6.4 RÄTSEL 4: RADON IN INNENRÄUMEN	43
4.6.5 RÄTSEL 5: TELEFONRÄTSEL	44
4.6.6 RÄTSEL 6: INGESTION	46
4.6.7 RÄTSEL 7: KALIUM-40	47
4.6.8 RÄTSEL 8: KOSMISCHE PRIMÄRSTRAHLUNG	49
4.6.9 RÄTSEL 9: HÖHENSTRAHLUNG UND FLIEGEN	51
4.6.10 RÄTSEL 10: DIE KOMBINATION	54

4.6.11 DIE VERSCHIEDENEN LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN	56
<u>5. EINSATZ DES EXIT-SPIELS IM UNTERRICHT</u>	<u>58</u>
5.1 EINGLIEDERUNG IN DEN UNTERRICHT	58
5.2 ZEITLICHE ANFORDERUNG	58
5.3 ERNEUTE VERWENDUNG DES SPIELS UND NACHPRODUZIERUNG DES MATERIALS	59
<u>6. REFLEXION UND AUSBLICK</u>	<u>60</u>
<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	<u>61</u>
<u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</u>	<u>62</u>
<u>TABELLENVERZEICHNIS</u>	<u>63</u>
<u>ANHANG</u>	<u>I</u>

1. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten ist das Spielen als Mittel zum Lernen immer mehr in den Fokus von Lehrer:innen, Erzieher:innen und Didaktiker:innen gerückt. Dabei stellt sich die Frage, ob in der Schule gespielt werden soll und wenn ja, welche Spiele angebracht sind. Natürlich hört hier die Diskussion nicht auf. In meiner Arbeit werde ich auf das Spielen und seine Wesensmerkmale, den Einsatz in der Schule, sowie das Konzept einer Spieldidaktik eingehen.

Der Hauptteil dieser Arbeit wird eine Vorstellung meines Spiels zum Thema der natürlichen Radioaktivität sein. Dieses ist angelehnt an die Spiel-Reihe des KOSMOS Verlags, „Exit – Das Spiel“. Das Spielkonzept wurde für den Unterricht von Dennis Raulin angepasst und von Onno Rütter weiterentwickelt. Es wird erklärt, wie das Spiel funktioniert, welche Regeln eingehalten werden müssen und wie die einzelnen Rätsel funktionieren. Außerdem gibt es eine Auflistung der zu den Rätseln gehörenden Lösungen. Da das Spiel für den Einsatz im Unterricht der Sekundarstufe II konzipiert ist, schließt sich eine Aufzählung der im Unterricht zu behandelnden Themen an.

Wann das Spiel im Unterricht gespielt werden sollte und welche didaktische Vorarbeit geleistet werden muss wird im ersten Teil der Arbeit angesprochen.

2. Spielen

In diesem Kapitel soll zunächst näher erläutert werden, was der Begriff „Spielen“ bedeutet und auf verschiedene Interpretationen dieses Begriffes eingegangen werden. Es folgt eine kurze Erläuterung, inwieweit Spielen im Sinne von Lernen einen Mehrwert hat und eine kurze Aufzählung möglicher Probleme vor die Lehrer:innen gestellt werden, die spielen wollen. Des Weiteren wird ein Blick in die Prinzipien der Didaktik des Spielens von Elke Calliess geworfen, die sich auf Erfahrungsberichte von Daublebsky und Conolly-Smith bezieht. Abgeschlossen wird das Kapitel durch eine Einordnung des Spiels in den Schulunterricht.

2.1 Begriffserklärung

Suchen wir in unserem alltäglichen Sprachgebrauch nach dem Vorkommen des Wortes Spiel, brauchen wir nicht lange, um verschiedene Verwendungszwecke zu finden. So spielt zum Beispiel das Mondlicht auf den Wellen, das Kind mit dem Ball und das Radio. [1] Es gibt Computerspiele, Gesellschaftsspiele, Mannschaftsspiele und Einzelspiele. Man kann alleine, zusammen oder mitspielen. Rittelmeyer verweist darauf, dass schon im althochdeutschen der Gebrauch des Wortes „Spil“ unterschiedliche Tätigkeiten wie Schauspiel, Tanz, Musik und Scherz umfasste. [1] Eine Unterscheidung zwischen „Spiel“ und „Spielen“ gelingt der englischen Sprache, mit „play“ und „game“, so Rittelmeyer. [1]

Man sieht schnell, dass innerhalb des Sprachgebrauchs des Wortes „Spiel“ viele verschiedene Möglichkeiten existieren dieses anzuwenden. Trotzdem können wir ohne Probleme unterscheiden, wenn eine Person spielt oder einer anderen Beschäftigung, wie dem Schlafen, dem Lernen oder Denken, nachgeht. [2]

Der Duden hat für eine Definition des Wortes „Spiel“ angegeben: *„Tätigkeit, die ohne bewussten Zweck zum Vergnügen, zur Entspannung, aus Freude an ihr selbst und an ihrem Resultat ausgeübt wird.“* [3] Definitionen, die sich auf eine „Zweckfreiheit“, Freiwilligkeit und Unabhängigkeit von Realitätszwängen des Spiels beziehen, sind jedoch umstritten. *„Obgleich damit sicher viele Spiele charakterisiert werden, sind hier doch Eigenschaften betont, die auch für nichtspielerische Aktivitäten gelten können und die zudem nicht auf den gesamten Wortgebrauch zutreffen.“* (Rittelmeyer 1983, S. 541)

Wissenschaftler verschiedener Forschungsbereiche haben im Sinne ihrer Forschung eine Klassifizierung des Spielbegriffs unternommen. So kategorisiert Piaget das Spiel nach entwicklungspsychologischen Dimensionen, während zum Beispiel Bühler Funktionsspiele, Fiktionspiele, rezeptive Spiele, Konstruktionsspiele und Gesellschaftsspiele voneinander trennt. [4]

Mit der Existenz verschiedener Spieltheorien kommen auch verschiedene Auffassungen des Begriffes „Spiel“ einher. Elke Calliess beschreibt, dass durch die unterschiedlichen und sich teilweise widersprechenden Klassifikationen, eine Systematik der Spielphänomene herauszuarbeiten erschwert wird. [4] Die in den Spieltheorien herausgearbeiteten Kriterien, um das „Spiel“ zu klassifizieren, besagen eher was das Spiel nicht ist. [5]

Scheuerl systematisiert die Einzelaspekte des Begriffs und weist darauf hin, dass es wiederkehrende Merkmale in den verschiedenen Spieltheorien gibt: [5] *„Ein Kanon weniger Hauptmotive kehrt in nahezu allen Spieltheorien wieder.“* (Scheuerl 1979, S. 69) Auch Callies spezifiziert Merkmale des Spielens. [4]

Meyer fasst die Merkmale von Scheuerl und Calliess in neun Punkten zusammen:

„1. Spielen erfordert einen freien Raum, weil es selbst frei von fremden Zwecken ist. [...] 2. Spielen ist in sich zielgerichtet. [...] 3. Spielen findet in einer Scheinwelt statt. [...] 4. Spielabläufe sind mehrdeutig und offen. [...] 5. Spielen schafft eine handelnde Auseinandersetzung mit den Mitspielern oder dem Spielobjekt. [...] 6. Spielen erfordert die Anerkennung von Spielregeln. [...] 7. Im Spielen müssen gleiche Rechte und Gewinn- oder Beteiligungschancen für alle Mitspieler bestehen [...]. 8. Spiele erfüllen sich in der Gegenwart. 9. Spielen macht Spaß [...].“ (Meyer 2017, S. 342f.)

Wir finden in diesen Wesensmerkmalen des Spielens die Definition des Dudens wieder, sehen allerdings, dass diese das Spiel nicht komplett beschreibt.

Das erste Merkmal zur Zweckfreiheit des Spiels wurde bereits von Schiller formuliert *„Der Mensch spielt nur, wo er in voller Bedeutung des Wortes Mensch ist, und er ist nur ganz da Mensch, wo er spielt.“* Eine andere Darstellung, die von Scheuerl bemüht wird, ist die des Kreises für das Spiel, dem eine *„innere Unendlichkeit“* (Scheuerl 1979, S. 78) innewohnt, während die Zweck- oder Bedürfnishaltung durch einen Pfeil symbolisiert wird. [5] Das bedeutet allerdings nicht, dass das Spielen nicht für andere Zwecke ge- und missbraucht werden kann. [2] Spiele finden Anwendung als Ablenkung und Erholung und werden immer stärker kommerzialisiert und didaktisiert. [2]

Wir sehen also, dass der Begriff des Spielens viele Anwendungsbereiche hat und gerade bei der Erschließung des Begriffs beziehungsweise bei dem Versuch diesen zu definieren, Probleme auftauchen. [4] Erfolgsversprechender bei dem Verständnis des Begriffs und der Anwendung für pädagogische Zwecke ist das Herausstellen von Merkmalen, die das Spiel prägen. [4]

2.2 Spielen in der Schule

Mit einem Grundverständnis ausgestattet, wie der Begriff des Spielens im Rahmen von pädagogischen Zwecken zu verstehen ist, wird im Folgenden das Spielen in der Schule und das Lernen durch Spielen genauer betrachtet.

Die erste Frage, die sich stellt, ist ob Spielen einen positiven Lerneffekt hat. Benita Daublebsky führt verschiedene Spiele für kleine Kinder auf, die alleine in kleinen oder großen Gruppen gespielt werden können, und erklärt verschiedene Lerneffekte, die bei den Kindern stattgefunden haben. So fördert das Spiel mit Bausteinen die Wahrnehmung, die Kinder lernen Größen und Formen, sowie ihre Funktionen kennen und wenden das erworbene Wissen durch Ausprobieren an. [6] Es wird außerdem die Kreativität geübt und die Phantasie gefördert, die allerdings immer noch zum Teil der Realität unterliegt. Ein Beispiel dafür ist der Bau eines großen Turms aus Bausteinen. Beim Bau dieses Turms sind die Kinder durch verschiedene Iterationen gegangen und mussten feststellen, dass ein größerer Turm bedeutet, dass er instabil wird und zerfällt. Um dem entgegenzuwirken, wurde die Basis des Turms vergrößert. Dazu äußerte sich eines der Kinder: „[...] *ein ganz großer Turm muss auch dick sein, sonst geht es nicht.*“ (Daublebsky 1975, S. 125)

Ein weiteres Beispiel ist das Ringwerfen, bei dem die Kinder lernen, ihre Wahrnehmung in Zusammenhang mit ihrer Motorik zu bringen. [6] Laut Calliess werden durch Übungsspiele bei Kindern „[...] *die Sinne geschärft und die motorische Geschicklichkeit gefördert.*“ (Calliess 1975, S. 23)

Neben den bereits genannten Lerneffekten stellt Calliess aus den Spielsituationen weiterhin heraus: „*Sie müssen differenziert wahrnehmen, ihre Aufmerksamkeit lenken können und auf Besonderheiten achten; sie müssen eine gewisse Ausdauer aufbringen; Gedächtnisleistungen sind nötig; sie müssen Zuordnungen und Kategorisierungen vollziehen; sie müssen Probleme lösen und Aufgaben erledigen; sie müssen nach Informationen fragen und sich Wissen verschaffen; sie müssen Symbole verstehen, Zeichen bemerken, Gesten deuten; sie müssen ihren Egozentrismus überwinden, um zu gemeinsamen Handlungen zu kommen; sie müssen sich mit anderen verständigen und einen Ausgleich zwischen verschiedenen Interessen herstellen und aufrechterhalten können.*“ (Calliess 1975, S. 23f.) Diesen Erkenntnisgewinn können die Kinder aus ihrer eigenen Motivation lernen und suchen sich ihre eigenen Entwicklungsanreize, die sie vorantreiben. [4]

Spielen ermöglicht Interaktion und eine gewisse Losgelöstheit von der Realität. Die Spieler:innen haben im Spiel die Möglichkeit, sich den Bedingungen des Spiels unterzuordnen und währenddessen Distanz zu ihrer „Alltagsperson“ zu gewinnen. [4] Durch diese Distanz können

Kinder die oben bereits angesprochene Selbstmotivation zum Lernen finden, anstatt durch die Regeln und Zwänge der „Erwachsenenwelt“ eingeengt zu werden. [4]

Es wird klar, dass Spielen im Lernprozess der Kinder ein nützliches Mittel und „[...] *im wahrsten Sinne des Wortes – eine grundlegende Form des Lernens.*“ ist. (Callies 1975, S.18)

Spielen hat also einen positiven Effekt auf die Entwicklung von Kindern, und durch Spielen ist Lernen möglich. Die Beobachtungen Daublebskys waren überwiegend bezogen auf Kinder im Vorschulalter und so stellt sich die Frage, ob außerdem Schlüsse für Kinder in anderen Altersgruppen gezogen werden können. Daublebsky beobachtete, dass ältere Schüler:innen, im Alter von zehn bis zwölf Jahren, Defizite aufweisen, wenn es darum geht, auch außerhalb des Spielens zu kooperieren. [6] Die Schüler:innen achten nicht aufeinander, haben Schwierigkeiten bei der Verständigung, halten Regeln nicht ein, verhalten sich unfair gegenüber anderen und fühlen sich in unvertrauten Situationen nicht wohl. Diese Verhaltensmuster tauchen auch schon bei jüngeren Kindern auf, was aber ihrem Entwicklungsalter entspricht und deshalb noch nicht als Defizit betrachtet werden kann. [6] So setzt sich Daublebsky dafür ein, diese Defizite in Schüler:innen gar nicht erst entstehen zu lassen, sondern ihnen diese Fähigkeiten durch die „*natürlichste Form des Lernens*“ (Daublebsky 1975, S.138) , dem Spielen, beizubringen. [6] Callies vertritt außerdem die Meinung, dass eine Verbannung des Spielens in die frühe Kindheit nicht gerechtfertigt sei. [7]

Ein weiteres Argument, dass auch ältere Kinder spielen sollten, bringt Wolfgang Einsiedler, der der Auffassung ist, dass spielorientierte Lernformen zu einer erhöhten Motivation führen können. [8] Außerdem sei Spielen eine „*menschliche Ausdrucksform [...], die zu einer allseitigen und psychisch gesund erhaltenden Lebensweise dazugehört [...].*“ (Einsiedler 1999, S. 161) und sollte deswegen auch Teil des Schullebens sein. [8]

Gerade in naturwissenschaftlichen Fächern wie Physik, Chemie und Biologie wird oft die Frage gestellt, was das Spielen im Unterricht zu suchen hat, da das Spielen mit dem „mühsamen Weg des Lernens von Physik“ scheinbar nichts gemein habe. [9] Das bereits erwähnte Beispiel mit den Bausteinen bringt den Kindern die Prinzipien der Schwerkraft, der Reibung und des Schwerpunkts nahe. Durch das Spielen können gewisse Aspekte also doch gelernt werden.

Wenn nun Lehrer:innen sich dazu entscheiden, doch im Unterricht zu spielen, dann können verschiedene Hürden und Probleme auftauchen. Zu denen zählen, dass Spielen viel Zeit kostet, kaum zu zensieren ist und Spielstunden viel Vorbereitung erfordern. [2] Eine weitere Herausforderung vor die sich Lehrer:innen gestellt sehen, ist die hohe Nachfrage der Schüler:innen

nach wettkampf- und konkurrenzorientierten Spielen. [2] Daublebsky formuliert die Problematik wie folgt: „*Wenn Kinder miteinander spielen, vor allem, wenn ein Erwachsener diese Spiele für sie arrangiert, so ist das Hauptvergnügen, aber auch das Hauptleiden am Spielen die Konkurrenz.*“ (Daublebsky 1974, S. 129 f.) Sie verurteilt aber Konkurrenzspiele an sich nicht, sondern fordert, dass das Vergnügen an der Betätigung selbst im Vordergrund stehen müsse. [10] Mit Spielen wie „Der Herr der Ringe“ oder den Spielen der Exit-Reihe rückt in letzter Zeit der Fokus auf eine kooperative Spielweise. Es steht nicht mehr die Konkurrenz im Vordergrund, sondern das Vergnügen der Beteiligten. Rollenspiele sind ein weiteres Beispiel für eine konkurrenzfreie Art des Spielens. Die Schüler:innen lernen, ihr eigenes Handeln besser zu verstehen und können sich in das Denken und Fühlen der anderen hineinversetzen. Das Ziel von offenen oder freien Rollenspielen ist die Entwicklung einer sozialen Handlungskompetenz. [2] Eine gemeingesellschaftliche Tendenz, auf die sich Lehrer:innen vorbereiten müssen, ist, dass medienunabhängiges Spielen den Kindern immer schwerer fällt. [2] So haben Kinder bereits in jungen Jahren Klemmbausteine und Playmobil, später kommen Computerspiele und anderes Spielzeug hinzu, wodurch das freie Spiel immer seltener wird.

Das Erstellen von eigenen Spielen ist ein langer Prozess und verlangt von der Lehrkraft einen großen Zeitaufwand, wenn das Spiel auch auf die Lerneinheit zugeschnitten sein soll. So schlägt Meyer vor, jede Lehrkraft solle sich „*Stück für Stück ein eigenes Spiele-Repertoire aufbauen*“. (Meyer 2017, S. 350). Schnell wird klar, dass neue Lehrer:innen und Student:innen über ein solches Repertoire noch nicht verfügen, dies sollte jene allerdings nicht davon abhalten, Spielstunden durchzuführen. [2]

Wenn Lehrer:innen im Unterricht spielen wollen, um den Schüler:innen etwas beizubringen, so wird das Spiel immer verzweckt sein, auch wenn versucht wird, das Spiel frei von jeder Lernzielorientierung zu machen. [2]

2.3 Spieldidaktik

Verwenden Lehrer:innen Spiele in ihrem Unterricht, so müssen sich die Lehrkräfte Gedanken machen, wie diese Spiele zu gestalten sind. Was will ich mit diesem Spiel erreichen? Was will ich bei den Schüler:innen bewirken? Worauf muss ich achten? Dies sind Fragen, die sich Lehrer:innen in ähnlicher Art auch beim Erstellen einer Unterrichtsstunde stellen könnten. Es macht Sinn davon auszugehen, dass solche Gedanken beim Verwenden von Spielen im Unterricht vorgenommen werden. Benita Daublebsky schildert in einem ihrer Praxisberichte, wie ein Spiel über einen längeren Zeitraum durch ein Punktesammelsystem innere Spannungen in den Kindern ausgelöst hat. [10] Dies führt dazu, dass alles dem Siegen untergeordnet wird. [10] Das

bedeutet nicht, dass ein Punktesystem nicht funktionieren könne, man müsse aber auf einige Gesichtspunkte achten: „1. Niemals Punkte über einen längeren Zeitraum sammeln lassen. [...] 2. Niemals beim gleichen Spiel die gleiche Gruppierung zu lange erhalten. [...] 3. Niemals beim Ansagen des Spiels besonders hervorheben und betonen, wie viele Punkte zu erwerben sind. [...]“ (Daublebsky 1974, S. 130 f.)

Die einfache Forderung, in der Schule einfach mehr zu spielen, reicht also nicht aus. Stattdessen muss eine „Spieldidaktik“ [10], „Didaktik des Spielens“ [4] oder auch eine „Didaktisierung des Spielens“ [2] vorgenommen werden.

Einen ersten Einblick in eine Spieldidaktik liefert Benita Daublebsky und nennt als Grundvoraussetzung für das Gelingen einer Spielstunde, dass Lehrer:innen und Erzieher:innen, die mit den Kindern spielen, ihnen keinen Gefallen erweisen. [10] Spielen im Unterricht bedeutet nicht automatisch, dass die Kinder motiviert und aufmerksam sind. Die Spiele müssen die Schüler:innen interessieren und ansprechen, um die von der Lehrkraft geplante Wirkung zu entfalten.

Die „Didaktik des Spielens“ müsse am Spielverhalten ansetzen. [4] Das Spielverhalten ist allerdings individuell geprägt und die konkrete Gestaltung wird „im Sozialisationsprozeß in Interaktion mit der gegenständlichen und personalen Umwelt bestimmt.“ (Calliess 1975, S.25)

Das Spielen wird angeregt durch die gegenständliche Objektumwelt sowie der personalen Umwelt. Zu dieser zählen alle Erwachsene, die Interesse am Sozialisationsprozess des Kindes haben. [4] Soll das Spielen als eine im Sozialisationsprozess wichtige Funktion gefördert werden, sei es notwendig, eine „Spielumwelt“ (Calliess 1975, S. 26) zu schaffen, in der Interaktionsbedingungen hergestellt werden, die die Entwicklung anregen und den Kindern ein „aktives, erkundendes und spielendes Lernen ermöglichen“. (Callies S. 1975, S.26)

Um eine solche Umwelt gestalten und eine „Didaktik des Spielens“ entwickeln zu können, stellt Calliess drei Prinzipien auf:

1. Die Gestaltung und Organisation der sachlichen Umweltgegebenheiten
2. Die sozialen Interaktionsbedingungen
3. Die Rolle des Pädagogen

2.3.1 Die Gestaltung und Organisation der sachlichen Umweltgegebenheiten

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit führt Callies Prinzipien und Hinweise auf, die beim Einrichten der Spielumwelt beachtet werden sollen. Dabei verweist sie auf die praxisbezogenen Gutachten von Conolly-Smith und Daublebsky.

„1. Die Umwelt muss den Kindern Möglichkeiten zur Entfaltung ihrer Tätigkeiten geben, [...].“ (Callies 1975, S.27) Das bedeutet, dass die Räume groß genug sein müssen, dass die Kinder

gemeinsam Aktivitäten planen können und diese Räume nicht monoton ausgestattet sind, sondern zum Erkunden anregen. Wichtig ist auch, dass zum Spielen genug Zeit ist, da das Abbrechen von Spielen zu Frust und Aggressivität führen kann. [4] Mitzunehmen für die Sek II ist hier der Aspekt der Zeit. Wenn die Entscheidung zu spielen getroffen ist, muss den Schüler:innen auch genug Zeit eingeräumt werden, das Spiel zufriedenstellend zu Ende zu bringen.

„2. *Spielumwelten müssen kindzentrierte Selbstständigkeit ermöglichen, [...].*“ (Callies 1975, S.28) Die Kinder müssen sich ohne Gefahr in dem Spielraum bewegen dürfen, um selbständige Erfahrungen zu machen. [4]

„3. *Die Kinder sollen mit ihrer Spielumwelt vertraut gemacht werden.*“ (Callies 1975, S.28) Durch eine vertraute Umgebung kann ein emotionales Vertrauen aufgebaut werden. Dazu muss sichergestellt werden, dass die Kinder sowohl über den Ort von Spielmaterialien und Spielen, aber auch über die Bedingungen und Grenzen des Ortes unterrichtet werden. [4] Auch in der Oberstufe kann sich eine vertraute Umgebung förderlich auf das Lernen auswirken. Dies kann durch die Dekoration und Einrichtung des Klassenraums geschehen. Über den Aufenthaltsort von Spielmaterial sollten die Schüler:innen aufgeklärt sein. Übungsspiele bieten sich an, von Schüler:innen wiederholt gespielt zu werden und dazu müssen sie den Aufenthaltsort dieser Spiele kennen. Das Festsetzen von Grenzen trifft im Besonderen auf Fachräume zu, die in der Regel nur beschränkt für Schüler:innen zugänglich sind.

„4. *Es muss für eine Vielfalt von Spielmaterialien und Spielsituationen gesorgt sein, [...].*“ (Callies 1975, S.28) Die Neugierde der Kinder soll geweckt werden und es müssen die verschiedenen Interessen der Kinder bedacht werden. [4]

„5. *Die Spielumwelt sollte Inkongruenzen mittlerer Dosierung enthalten: [...].*“ (Callies 1975, S.28) Unvertraute Situationen und Materialien, die die Kinder herausfordern und zum Problemlösen anregen sind erwünscht, solange sie die Kinder nicht überwältigen oder verängstigen. [4]

„6. *Spielumwelten sollen individuelle Passung ermöglichen im Hinblick auf Spielmaterialien und -situationen.*“ (Callies 1975, S.28) Es sollen Aufgaben gestellt werden, die die Kinder leicht überfordert, sodass sie gefordert werden, aber nicht entmutigt. Erfolgserlebnisse sind wichtig, so dass sich die Kinder an immer schwerere Spiele und Aufgaben wagen. [4] Rollenspiele bieten sich insbesondere an, um die Schüler:innen der Oberstufe anzuregen. Historische Dialoge oder Themen der Gegenwart können durch sie dargestellt und behandelt werden. Die Schüler:innen müssen aber in der Lage sein, die dargestellten Problematiken zu lösen. Hier lässt sich auch der fünfte Punkt wiederfinden. Probleme, die vielleicht eher an einer Hochschule angebracht wären, sollten, wenn sie im Unterricht behandelt werden, didaktisch heruntergebrochen werden. Dadurch wird die Überwältigung der Schüler:innen verhindert.

„7. *Es sollte Ruhezeiten geben, [...]*.“ (Callies 1975, S.28) Die Kinder brauchen einen Rückzugsort, an dem sie sich wohl fühlen. [4] Für junge Erwachsene gilt dies insofern, dass ihnen die Möglichkeit geboten sein muss, sich in regelmäßigen Zeitintervallen zurückziehen zu können. Dies kann durch eine kleine Pause zwischen den Stunden und den großen Pausen zwischen den Doppelstunden ermöglicht werden.

2.3.2 Die sozialen Interaktionsbedingungen

Die Entwicklung der Handlungspotentiale und Denkstrukturen bei Kindern geschieht laut der Sozialisationsforschung durch die Interaktions- und Kommunikationsbedingungen, unter denen bewusste Erziehungsmaßnahmen stattfinden. [4]

Die im Folgenden von Callies aufgeführten didaktischen Gesichtspunkte zur Gestaltung der Interaktionsformen beziehen sich auf Gutachten von Daublebsky und Krappmann.

„1. *Beim Spielen muss eine entspannte und fröhliche Atmosphäre herrschen, [...]*.“ (Callies 1975, S.29) Die Kinder sollen sich wohlfühlen und zum Mitmachen eingeladen werden, auch wenn sie zunächst nicht wollen. Es sollten Leistungsdruck, Sanktionen und Repressionen vermieden werden und ein Abbau von Konkurrenz und Wettbewerb zwischen den Kindern angestrebt werden. [4] Der Einsatz von verschiedenen Spielformen, wie Rollenspiele und Übungsspiele, lassen sich auch in der Oberstufe verwenden. So ist eine Diskussion über Pro und Kontra zu einem bestimmten Thema ein Beispiel für ein Rollenspiel, welches die Konkurrenz Abbauen kann. Neben Übungs- und Rollenspielen könnte auch ein Exit-Spiel diese Funktion übernehmen. Durch das gemeinsame Spielen geht der Wettbewerbsgedanke verloren.

„2. *Beim Spielen soll es den Kindern möglich sein, ihre Bedürfnisse und Gefühle in die Situation einzubringen, [...]*.“ (Callies 1975, S.29) Gefühle, die in bestimmten sozialen Situationen unterdrückt werden, können ausgelebt werden. [4] Gerade in Fächern wie Deutsch oder Werte und Normen könnten diese Situationen auch in der Sek II vorkommen. Das Bauen von Standbildern und Rollenspiele können Beispiele sein, in denen sich die Schüler:innen öffnen. Durch das Darstellen von bestimmten Situationen kann die Sozialkompetenz erweitert werden und Schüler:innen erfahren Situationen aus einem anderen Blickwinkel.

„3. *Beim Spielen können Kinder selbst über ihre Aktivitäten bestimmen.*“ (Callies 1975, S.29) Sie sollen die Möglichkeit haben zu entscheiden, wann, wie lange und mit wem sie spielen wollen und ob sie bei der Gestaltung der Spiele mitwirken oder nur bei den Spielen teilnehmen. [4] Schüler:innen zum Spielen zu zwingen sollte, unabhängig von ihrem Alter, vermieden werden. Anstatt jemanden bei einem Übungsspiel zu bestimmen, könnte stattdessen eine freiwillige Person gewählt werden, die sich den Übungsfragen stellt.

„4. Die Kinder brauchen Absprachen, Gewohnheiten und Regeln im Umgang miteinander, damit Interaktionen planbar und vorhersehbar werden.“ (Callies 1975, S.29) Diese Regeln sollten möglichst zusammen mit den Kindern aufgestellt und fortlaufend reflektiert werden. [4]

„5. Die Kinder müssen Konfliktstrategien und Problemlösungsmöglichkeiten miteinander entwickeln, die es ihnen erlauben, mit schwierigen Situationen fertig zu werden.“ (Callies 1975, S.29) Die entstehenden Konflikte sollen angesprochen werden und die Motivation, die diesen Konfliktsituationen vorausgeht, herausgearbeitet werden. [4] Die Punkte vier und fünf beziehen sich allgemein auf soziale Interaktionen untereinander. Von Schüler:innen in der Sekundarstufe II können diese erwartet werden. Dennoch sollte das Verhalten ständig reflektiert und beim Aufkommen von Problemsituationen zur Ansprache gebracht werden.

„6. Beim Spielen entstehen häufig Aggressionen, die es zu kanalisieren gilt, [...].“ (Callies 1975, S.30) Durch Spiele, die angestaute Energien durch Bewegung freilassen, kann Unruhe und Aggression abgebaut werden. [4] Es kann sich anbieten bei großer Unruhe einen Methodenwechsel vorzunehmen und die Energie der Schüler:innen in Form von Bewegungs- oder Rollenspielen zu kanalisieren.

2.3.3 Die Rolle des Pädagogen

Laut Benita Daublebsky steht und fällt der Erfolg einer Spielstunde mit dem Verhalten der Spielleiter:innen. [10] Der Pädagoge sollte lernen, die Kinder zu beobachten, ihre Motivationen nachvollziehen zu können, abwarten, wie die Kinder Konflikte lösen und erst eingreifen, wenn die Kinder ohne ihn nicht weiterkommen würden. [4] Die Spielleiter:innen müssen lernen, sich selbst zurückzunehmen, was nicht ihrer normalerweise besonderen Stellung im Gruppengefüge entspricht. Doch was nach außen wie eine passive Haltung erscheinen mag, ist innerlich eine sehr aktive, teilnehmende, beobachtende und reflektierende Rolle. [4] Calliess stellt hierbei klar, dass Schüler:innen nicht komplett sich selbst überlassen werden sollen, sondern die Lehrkraft zunächst die Lage der Kinder einschätzen und darauf ihre pädagogische Reaktion ausrichten sollte. Calliess gibt die wichtigsten Gesichtspunkte der Rolle des Pädagogen wieder und stützt sich dabei auf das Gutachten von Conolly-Smith und die Spielbeschreibung von Daublebsky. [4]

„1. Der Pädagoge organisiert und arrangiert die Spielumwelt.“ (Callies 1975, S.30) Die Einrichtung des Spielraums und die Spielmaterialien, die zur Verfügung stehen, müssen schon vor Beginn der Spielstunde bereitstehen. Den Kindern sollte aber die Möglichkeit gegeben werden, Einfluss auf ihre Umgebung zu haben und so zum Beispiel bestimmen zu können, wo welche Möbel stehen oder welches Spielmaterial in greifbarer Nähe liegen soll. [4] Spiele sollten auch

in der Oberstufe von der Lehrkraft geplant und das nötige Spielmaterial zur Verfügung gestellt werden. Will die Lehrkraft ein Rollenspiel durchführen, müssen die nötigen Requisiten zu Beginn der Spielphase bereitstehen. Je nach der Offenheit des Rollenspiels können die Schüler:innen sich im Raum Platz schaffen und das Material verwenden.

„2. Der Pädagoge ist Nachahmungsmodell für die Kinder und kann zum Identifikationsobjekt werden.“ (Callies 1975, S.31) Erzieher:innen und Lehrer:innen sind in vielen Fällen eine erste Bezugsperson außerhalb der Familie. Dies ermöglicht den Kindern andere Rollenbeziehungen zwischen Erwachsenen und Kindern kennenzulernen. [4]

„3. Eine grundlegende Aufgabe des Pädagogen ist die Beobachtung des Verhaltens und die Diagnose des Entwicklungsstandes einzelner Kinder.“ (Callies 1975, S.31) Die Diagnose muss sich auf emotional-soziale Faktoren richten und auf die kognitiven Dimensionen eines Kindes. Dazu ist eine genaue Kenntnis der Fähigkeiten, Probleme und Ängste der Kinder nötig. Beim Beobachten versucht die Lehrkraft herauszufinden welche emotionalen und sozialen Probleme sich hinter bestimmten Reaktionen verbergen. Beim Erfassen des Entwicklungsstands der Kinder wird ergründet wie Informationen bearbeitet werden, welche Arten von Beziehungen wahrgenommen werden und wie mit Widersprüchen umgegangen wird. [4]

„4. Der Pädagoge muss den Kindern Hilfestellungen und Ermutigungen geben.“ (Callies 1975, S.32) Vor Allem Kinder, die von sich aus nicht aktiv an der Umwelt teilnehmen, brauchen hier Unterstützung durch den Pädagogen. Beim Umgang mit Frustration und Aggressionen brauchen Kinder oft eine Kanalisierung dieser Gefühle. [4]

„5. Über solche Ermutigungen hinaus kann der Erzieher gezielte Vorschläge für Spiele machen, [...].“ (Callies 1975, S.32) Ältere Kinder bevorzugen Gruppen-, Regel- und Rollenspiele und hier kann die Lehrkraft, die für die Individuen, abhängig vom Entwicklungsstand, richtigen Spiele vorschlagen. Dazu ist jedoch ein großes Repertoire solcher Spiele nötig. [4]

„6. Der Pädagoge sollte eine langfristige und flexible Planung anstreben, um selber ein Ziel für seine Anregungen und Spielvorschläge zu haben.“ (Callies 1975, S.32) Diese Planung muss aber flexibel gestaltet sein und muss im Verlauf immer auf die Kinder angepasst werden. Die Reaktion auf die Situationsdynamik muss im Vordergrund stehen und es darf nicht auf die starre Einhaltung des Programms bestanden werden. [4] Die Punkte zwei bis sechs beschreiben genauer wie der Pädagoge sich in Bezug zu den Schüler:innen verhalten muss und diese Rolle ändert sich auch in der Sek II nicht großartig. Die Lehrkraft bleibt immer noch ein Identifikations- und Nachahmungsobjekt für die Schüler:innen. Das Verhalten der Schüler:innen muss beobachtet, reflektiert und analysiert werden. Spiele, die im Unterricht gespielt werden sollten auf diesen Beobachtungen gründen. Bemerkt der Pädagoge Frustrationen und Aggressionen, ist es

seine Aufgabe diese zu kanalisieren. Bei der Spielplanung darf im Vordergrund nicht stehen, diesen Plan exakt durchzuziehen. Die Spiele müssen dem Wissensstand der Schüler:innen angepasst werden.

2.4 Exit in der Schule

Sollte überhaupt im Unterricht gespielt werden? Diese Frage, wie wir weiter oben bereits gesehen haben, wird gerade in der Physik häufig gestellt. Spielen und der Physikunterricht scheinen nicht zusammenzupassen. [9] Dies scheint jedoch im Widerspruch zu den Aussagen der Spieldidaktiker zu stehen, die das Spielen befürworten, sich allerdings für eine gründliche Vorbereitung und anschließende didaktische Analyse von Spielstunden einsetzen.

Die Rolle der Lehrer:innen ist es also, sich zu überlegen, wann Spielen im Unterricht angebracht und sinnvoll ist.

Spiele in der Schule nimmt oft eine Kompensationsfunktion ein und hilft, die im Frontalunterricht aufgebauten Aggressionen abzubauen. [2] Durch den Einsatz von Spielen kann demnach die Lehrerzentrierung im Unterricht abgebaut und ein Methodenwechsel ermöglicht werden.

Mit einer Spielzeit von ungefähr 90 Minuten stellt sich allerdings die Frage, wo in den Unterricht mein Spiel hineinpasst.

Einige Spielanlässe für den Unterricht erwähnt Mikelskis-Seifert. Dazu gehört der Einstieg in und die Erarbeitung eines Themas. [9] Beide diese Anlässe schätze ich als ungünstig für mein Spiel ein. Dies liegt an dem nötigen Vorwissen, das bereits vorhanden sein muss, um das Spiel zufriedenstellend abschließen zu können. Der Einsatz meines Spiels zum Erarbeiten oder Einleiten eines Themas würde zu einer großen Frustration bei den Schüler:innen führen. Ihnen fehlen die nötigen Möglichkeiten, die Rätsel von sich aus zu lösen und wären in einer Lage, in der die Lehrperson ihnen helfen müsste. Wie in 2.3 beschrieben, kann und soll die Lehrkraft in bestimmten Situationen eingreifen, dies sollte allerdings nur geschehen, wenn ein Kompetenzzuwachs zu erwarten ist.

Den dritten Anlass zum Spielen, den Mikelskis-Seifert nennt, ist zur Festigung des Gelernten. [9] Hier sollen, durch den „Huckepackeffekt“, Fachinhalte besser transportiert werden und das Gelernte kann vertieft werden. Eine solche Einheit sollte am Ende eines Unterrichtsganges angesetzt werden. Das bedeutet, dass nachdem im Unterricht das Thema der natürlichen Radioaktivität behandelt wurde, das Spiel einen Festigungseffekt haben kann. Mit der Spielzeit einer Doppelstunde setzt dies also das Bereitstellen von zwei Unterrichtsstunden voraus. Damit

würden wir von einer „Spielstunde“ sprechen, was eine intensive Vorbereitung durch die Lehrkraft voraussetzt. [2] Diese sollte sich mit den Regeln und der Funktionsweise des Spiels vertraut gemacht haben, um im Falle von Problemen und Schwierigkeiten, helfen zu können. Wenn die Schüler:innen nun also das benötigte Wissen haben, um die Rätsel zu lösen, dann kann das Entstehen der Frustrationen und Aggressionen vermieden werden.

Ein positiver Aspekt des Formates von Exit-Spielen ist die Erweiterung der Kompetenz im Bereich des Problemlösens. Kipman untersucht dazu verschiedene Brettspiele auf Kompetenzen, sowie den Spaßfaktor und bewertet diese auf einer Skala von 1-10. [11]

Die Spiele der Exit-Reihe schließen überragend ab. K1, K2, K3 und K4 stehen für das eigenständige Entwickeln und Nutzen von Lösungsstrategien (K1), das Erbringen von Transferleistungen (K2), mit vorhandenen Informationen Barrieren zu überwinden und eigenständige Wege zur Lösung zu finden (K3) und es wird sich aktiv mit Problemen auseinandergesetzt, um diese zu lösen (K4).



Abbildung 1: Kompetenzen im Exit-Spiel [11]

Auch der hohe Spaßfaktor ist als positiv zu betrachten, da die Motivation von Kindern gesteigert wird und diese das Spiel zu Ende führen wollen.

3. Physikalische Grundlagen

Die im Folgenden dargestellten Fachinhalte sollten zum größten Teil im Unterricht behandelt worden sein, um durch das Spielen meines Spiels auch einen Festigungs- und Übungseffekt erzielen zu können. Sinn dieses Kapitels ist es nicht, alle relevanten Themen aufzuführen und aufzuarbeiten, sondern eine Aufzählung, der im Spiel abgefragten Themen und zum Lösen notwendigen Wissensinhalte zu vermitteln.

Ich habe mich an den Werken der Europäischen Union, („European Atlas of Natural Radiation“), von Prof. Dr. Siehl („Umweltradioaktivität“), Informationen aus der Vorlesung von Prof. Dr. Clemens Walther („Kernphysikalische und Kernchemische Grundlagen (als Teil der Experimentalphysik IV)“) und den Informationen des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) orientiert.

3.1 Grundzüge der Kernphysik

3.1.1 Nomenklatur der Kerne

Um einen flüssigen Spielverlauf zu ermöglichen, müssen die Schüler:innen mit verschiedenen Konzepten und Fachbegriffen vertraut sein. Dazu gehören die Kernladungs-, Neutronen- und Massenzahl. Auch mit den Eigenschaften von Elektronen, Photonen, Neutronen und Nukleonen sollten sie vertraut sein. Des Weiteren ist die Darstellung „ ${}_{19}^{40}\text{K}$ “ bekannt und die Schüler:innen können zuordnen, dass es sich um ein Kalium-Isotop, mit 19 Protonen, 21 Neutronen und einer Nukleonenzahl von 40, handelt.

3.1.2 Nuklidkarte

Die Nuklidkarte ist wesentlicher Bestandteil des Spiels und so müssen die Schüler:innen fit im Umgang mit ihr sein. Sie sollten wissen, dass auf den Achsen die Protonen- und Neutronenzahl aufgetragen ist, was die Farben der einzelnen Kästchen und die verschiedenen aufgetragenen Zahlen bedeuten. Im Zuge dessen muss der Begriff der Halbwertszeit und wo sie in der Nuklidkarte zu finden ist bekannt sein. Außerdem können die Schüler:innen Nuklide, sowie ihre Zerfallsart und das Zerfallsprodukt bestimmen. Auch sollten die Begriffe Isobar, Isotop, Isoton, Isomer und Isodiapher bekannt sein. Im Spiel werden zwar nicht alle diese Begriffe benutzt, wenn sie benutzt werden, können sie aber Lösungshinweise liefern.

Primordiale Nuklide und die drei aktiven Zerfallsreihen von Uran-235, Uran-238 und Thorium-232 sollten thematisiert worden sein. Auch andere primordiale Nuklide, vor allem Kalium-40 sollte bekannt sein. Mutter-Tochter-Beziehungen und die Begriffe Mutter und Tochter im kernphysikalischen Sprachgebrauch sind den Schüler:innen bekannt. Natürlich vorkommende

Nuklide und ihre Zusammensetzung, zum Beispiel Kalium, können die Schüler:innen mit der Nuklidkarte identifizieren.

3.1.3 Der radioaktive Zerfall

Die Schüler:innen kennen die verschiedenen Zerfallsarten. Den verschiedenen Farben der Nuklidkarte können sie die entsprechenden Zerfallsarten zuordnen. Außerdem sind insbesondere Eigenschaften wie die Wellenlänge, Photonenenergie und die Detektion von Gamma-Strahlung bekannt. Auch wie Beta-Zerfälle und Alpha-Zerfälle gemessen werden können und die Eigenschaften der Strahlungsarten sollten bekannt sein. Im Spiel werden diese nicht explizit genannt, das Wissen gibt aber Hinweise zum Lösen bestimmter Rätsel.

3.1.4 Begriffe im Strahlenschutz

Im Spiel vorkommende Dosimetrische Größen sind die effektive Dosis und die Dosisleistung. Jetzt alle dosimetrischen Größen aufzuzählen, würde an dieser Stelle den Rahmen sprengen, deshalb werde ich mich auf die im Spiel erwähnten Größen beschränken. In diesem Rahmen wird ebenfalls die Aktivität genannt, weswegen ich diese auch kurz aufzählen werde. Für eine detaillierte Beschreibung für dosimetrische Begriffe verweise ich auf das Werk von Hans-Gerrit Vogt und Jan Willem Vahlbruch „Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes“. [16]

3.1.4.1 Aktivität

Die Aktivität ist das Verhältnis aus der durchschnittlichen Anzahl von Kernprozessen ΔN und dem Zeitintervall Δt in dem sie sich ereignen:

$$A = \frac{\Delta N}{\Delta t} \quad (1)$$

Die Einheit der Aktivität ist das Becquerel (Bq) wobei 1 Bq einem Kernzerfall pro Sekunde entspricht

3.1.4.2 Effektive Dosis

Bei der Abschätzung stochastischer Strahlenschäden wird von Beobachtungen ausgegangen, die zeigen, dass eine gleiche Organ-Äquivalentdosis bei unterschiedlichen Organen und Geweben T stochastische Schäden mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit $R_{S,T}$ auslösen. Geht man

vereinfachend von einem linearen Zusammenhang zwischen Dosis und Wirkung aus, kann die Wahrscheinlichkeit $R_{S,T}$ wie folgt ausgedrückt werden:

$$R_{S,T} = r_{S,T} \cdot H_T \quad (2)$$

$r_{S,T}$ bezeichnet den Risikoeffizienten, also das Verhältnis aus der Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer stochastischen Strahlenwirkung im Körperteil T und der Organ-Äquivalentdosis H_T . Der Risikoeffizient ergibt sich zu

$$r_{S,T} = r_S \cdot w_T \quad (3)$$

wobei w_T für den Gewebe-Wichtungsfaktor steht. Der gibt den relativen Anteil des Körperteils T am Gesamtrisiko bei gleichförmiger Ganzkörperexposition an. r_S gibt den Gesamtrisikoeffizienten für alle Körperteile an. Die Wahrscheinlichkeit R_S , nach der sich im Organismus eine stochastische Strahlenwirkung nach einer Strahlenexposition entfaltet, kann bestimmt werden durch:

$$R_S = \sum_T R_{S,T} = r_S \sum_T w_T \cdot H_T = r_S \cdot E \quad (4)$$

Die Effektive Dosis E ist die Summe der Produkte $w_T \cdot H_T$ aus Gewebe-Wichtungsfaktor und Organ-Äquivalentdosis aller risikorelevanten Organe und Gewebe. Die Einheit der effektiven Dosis ist Sievert (Sv). Für die effektive Dosis gilt damit:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T = \sum_T w_T \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \quad (5)$$

$D_{T,R}$ steht für die Organ-Energiedosis und w_R für den Strahlungswichtungsfaktor.

3.1.4.3 Dosisleistung

Die Wirkung ionisierender Strahlung ist größer, je länger die Bestrahlung andauert und je intensiver das Strahlungsfeld ist. Das Verhältnis aus der in einem kleinen Zeitintervall Δt freigesetzten Dosis ΔH und der Länge des Zeitintervalls wird als Dosisleistung bezeichnet und ist ein Maß, um die momentane „Intensität“ eines Strahlungsfeldes anzugeben.

$$\dot{H} = \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (6)$$

Während die Dosis die pro Masseneinheit absorbierte Energie angibt, beschreibt die Dosisleistung die Energie, die in einem bestimmten Zeitintervall auf den Körper wirkt.

3.2 Natürliche Radioaktivität

Versucht man, die jährliche effektive Dosis zu bestimmen, die wir im Durchschnitt abbekommen, so ist zu beachten, dass die Strahlenexposition verschiedene Quellen hat. Im Folgenden werde ich deshalb die Quellen natürlicher Strahlenexposition auführen und grob erläutern.

Zwischen den Quellen der natürlichen Radioaktivität gibt es Unterschiede, inwieweit diese zur jährlichen Dosis beitragen. Diese sollen am Ende gegenübergestellt werden.

3.2.1 Herkunft der natürlichen Radionuklide

In der Natur kommen etwa 80 Radionuklide in messbaren Mengen vor. Davon gehören 45 zu den Zerfallsreihen der langlebigen oder primordialen Mutternuklide Uran-238, Uran-235 und Thorium-232. Seit der Nukleosynthese existieren diese und sind aufgrund ihrer extrem langen Halbwertszeiten noch nicht vollständig zerfallen. Es gab auch eine vierte Zerfallsreihe, nämlich die des Np-237. Da die Halbwertszeit (HWZ) der Radionuklide im geologischen Vergleich kurz ist, sind diese im Verlauf der Zeit ausgestorben.

Außerdem existieren primordiale Radionuklide, deren erste Umwandlung bereits zu stabilen Kernen führt. Ein Beispiel ist das Kalium-40, welches in das stabile Argon-40 und Calcium-40 zerfällt.

Es gibt noch 15 kosmogene Radionuklide. Deren Halbwertszeiten sind, mit Ausnahme von Iod-129, relativ gering, wenn man sie mit primordialen Radionukliden vergleicht. Die kosmogenen Radionuklide entstehen durch Wechselwirkung der kosmischen Strahlung mit Atomkernen der Atmosphäre oder der Erdoberfläche und werden kontinuierlich neu erzeugt. [12, 13]

3.2.2 Terrestrische Strahlung

Von terrestrischer Strahlung wird gesprochen, wenn der Ursprung der Strahlung die in den Gesteinen und Böden liegenden Radionuklide sind.

Radionuklide der Zerfallsreihen von Thorium-232, Uran-238 und Uran-235 sind aufgrund ihrer Existenz seit der Entstehung der Erde überall in Böden und Gesteinen in unterschiedlichen Konzentrationen vorzufinden. Gleiches gilt für das primordiale Kalium-40. Die Zerfallsprodukte der Thorium- und Uran-Reihen und Kalium-40 sind Hauptverursacher der terrestrischen Gamma-Strahlung. Die Gamma-Strahlen durchdringen selten mehrere Dezimeter an Gestein oder Boden. 95 % der gemessenen, terrestrischen Gamma-Strahlen haben ihren Ursprung in den oberen 35 cm des Bodens oder Gesteins. Wie stark Gestein und Böden strahlen, wird überwiegend durch die Detektion der Gamma-Strahlen gemessen und als Gamma Ortsdosisleistung in $\frac{Gy}{s}$ oder $\frac{nGy}{h}$ angegeben. [12] Die Untersuchung von Gestein ist besonders interessant, da viele Häuser Stein als Baumaterial verwenden und so Anteile der primordialen Nuklide Th-232, U-238, U-235 und deren Zerfallsprodukte in ihnen zu finden sind.

Die Messungen der terrestrischen Gamma-Strahlung werden durch die Umwelt beeinflusst. So haben Faktoren wie Bodenfeuchtigkeit, Vegetation an der Erdoberfläche und das Liegen einer Schneedecke, Einfluss auf die gemessenen Werte. Die Konzentration von Radon in der Luft und seine Folgeprodukte, vornehmlich Blei-214 und Bismuth-214, erhöhen die an der Oberfläche gemessene Gamma-Strahlung.

Ein Messgerät zur Bestimmung der Gamma-Strahlung wird allerdings nicht nur die terrestrische Strahlung messen, sondern auch kosmische Strahlung und, wie oben bereits erwähnt, die Folgeprodukte des Radons. [12, 13]

3.2.3 Radon

Es folgt eine grobe Übersicht zum Radon. Eine ausführliche Beschreibung zum Radon lässt sich im Anhang finden.

Radon ist ein Edelgas welches in Böden, Gesteinen und Gewässern vorkommt. Die Quelle für Radon sind die natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium, durch den α -Zerfall von Radium. Rn-222 hat eine Halbwertszeit von 3,8 Tage, Rn-220 (Thoron) hat eine Halbwertszeit von ca. 55 Sekunden und Rn-219 (Actinon) hat eine Halbwertszeit von ca. 3,9 Sekunden. Wenn im Folgenden von „Radon“ gesprochen wird ist damit das Rn-222-Isotop gemeint.

Durch die Eigenschaft der verschiedenen Radon-Isotope, gasförmig zu sein, ist die Migration im Erdboden vereinfacht. Die kurzen Halbwertszeiten von Thoron und Actinon haben zur Folge, dass sie auf dem Migrationsprozess an die Erdoberfläche zu einem großen Teil zerfallen.

Die längere Halbwertszeit des Radons ermöglicht, dass ein größerer Teil die Erdoberfläche erreicht.

Die Radon-Aktivitätskonzentration in Gestein, Böden und Außenluft kann zwischen einigen $\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ und wenigen $\frac{\text{MBq}}{\text{m}^3}$ variieren. An der Außenluft überschreitet die Konzentration selten die $50 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$, während in der Bodenluft Konzentration vorzufinden sind, die um den Faktor 1.000 bis 100.000 höher sind. Das im Boden befindliche Radon kann in Gebäude gelangen und dort Raumluftkonzentrationen von einigen hundert bis tausend $\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ bewirken. Gesteine und Böden sind aufgrund ihres Anteils an Uran und Thorium Quellen für Radon und so kann Radon auch aus den Baumaterialien in Wohnräume gelangen. Die Hauptquelle für Radon in Innenräumen ist allerdings der Untergrund. Durch Risse und Öffnungen im Fundament, z.B. durch die Verbindungswege von Rohren, gelangt Radon in Kellergeschosse und von dort über die Treppenhäuser in Innenräume. Der Weg durch den Erdboden und in die Häuser ist allerdings ein langsamer Prozess, wodurch Thoron anteilmäßig sehr selten vorkommt. Durch das Binden des Radons an Aerosole, die sich auf Oberflächen und in der Luft finden lassen, erhöht sich die Radonkonzentration in der Luft. Werden die Aerosole eingeatmet, können Radon, durch α -Zerfall und seine Folgeprodukte, Polonium-, Blei- und Bismuth-Isotope, Schaden im Lungengewebe anrichten. Atmet man Radon und seine Folgeprodukte über einen längeren Zeitpunkt ein, so steigt das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken. Nach dem Rauchen ist das Einatmen von Radon die größte Ursache für Lungenkrebs.

Im Freien vermischt sich Radon mit der Umgebungsluft, wodurch die Radonkonzentration gering ist. Innerhalb von Wohnräumen kann durch regelmäßiges Lüften die Konzentration von Radon gesenkt werden. In Kellerräumen, die wenig bis gar nicht gelüftet werden, können spezielle Lüftungssysteme und das Abdichten von möglichen Eintrittsorten zur Reduzierung der Radonkonzentration führen. [12, 13, 15]

3.2.4 Ingestion

Radionuklide werden durch Tiere und Pflanzen beim Stoffwechselprozess aufgenommen. Auch durch die Luft können Nahrungsmittel kontaminiert werden. Dies kann zum Beispiel durch die Ablagerung der nicht mehr gasförmigen Folgeprodukte des Radons auf der Oberfläche von Blättern und die darauffolgende Aufnahme geschehen. Die Höhe der spezifischen Aktivität in Nahrungsmitteln hängt von dem Radioaktivitätsgehalt der Böden und Gewässer, der Verfügbarkeit der Nährstoffe und übrigen Stoffe aus Boden und Wasser und von anderen

Gegebenheiten im Lebensraum der Tiere und Pflanzen ab. Die Strahlenbelastung durch Nahrungsaufnahme unterscheidet sich regional nur geringfügig.

Es ist anzumerken, dass in allen Nahrungsmitteln natürliche Radionuklide vorzufinden sind. Dabei sind das Kaliumisotop Kalium-40, das primordiale Rubidium-87, die kosmogenen Nuklide Kohlenstoff-14 und Tritium, sowie langlebige Radionuklide der Uran-Radium- und Thorium-Zerfallsreihen die Hauptverursacher, der durch Ingestion von Nahrung ausgehenden Strahlenexposition. Von Bedeutung sind Uran-238, Uran-234, Radium-226, Radium-228, Blei-210, Polonium-210 und die Thorium-Isotope Thorium-230, Thorium-232 und Thorium-228.

Verschiedene Nahrungsmittel weisen unterschiedliche Konzentrationen der Radionuklide vor. Hervorzuheben sind Paranüsse und manche Pilzarten, die bestimmte Radionuklide in erhöhtem Maß anreichern.

Zur natürlichen Ingestionsdosis tragen Nahrungsmittel 98% bei, während Trink- und Mineralwasser 2% beitragen. [15]

Die Hälfte der durch die Ingestion ausgehenden Strahlenexposition stammt vom Kalium. Insbesondere durch das Kalium-Isotop Kalium-40. 0,0117 Prozent des natürlich vorkommenden Kaliums ist Kalium-40. Der menschliche Körper ist auf Kalium angewiesen, damit der Stoffwechsel funktionieren kann. Mit einer spezifischen Aktivität von 31,6 Becquerel pro Gramm Kalium, kann aus dem Kaliumgehalt die Kalium-40-Aktivität bestimmt werden. Dadurch, dass unser Körper auf Kalium angewiesen ist, ist es realistisch nicht möglich, auf Kalium zu verzichten.

Geringfügig tragen zur Ingestionsdosis die kosmogenen Radionuklide, wie Tritium, Berillium-7 und Kohlenstoff-14, bei. [15, 17]

3.2.5 Kosmische Strahlung

Die kosmische Primär-Strahlung kann unterschieden werden in galaktische Strahlung und die solare Strahlung. Die galaktische Strahlung hat ihren Ursprung in den Tiefen des Weltalls und besteht zu 90% aus Protonen mit Energien bis zu mehr als 10^{14} MeV, also einigen Joule. 10 % der galaktischen Strahlung sind Heliumkerne und ein ganz geringer Anteil sind schwere Kerne bis zum Eisen, sowie Photonen und Elektronen. Die solare Strahlung ist nur bei starken Strahlungsausbrüchen auf der Sonne von Bedeutung. Sie besteht aus Protonen und Heliumkernen mit Energien bis zu 200 MeV.

Die Primärstrahlung wird durch das Erdmagnetfeld abgeschwächt. Die positiv geladenen Teilchen werden in der Nähe des Äquators abgelenkt und abgeschwächt, während sie sich in den

Polregionen parallel zu den Magnetfeldlinien bewegen. Somit haben sowohl Höhe als auch die Distanz zum Äquator Einfluss auf die Dosisleistung. Im erdnahen Raum beträgt die Dosisleistung einige $\mu\text{Sv/h}$. Auch der Sonnenfleckenzyklus mit höherer oder niedriger Sonnenaktivität hat Einfluss auf die Primärstrahlung auf der Erde. Der Sonnenfleckenzyklus ist ein sich alle elf Jahre wiederholender Zyklus einer steigenden und abnehmenden Anzahl an Sonnenflecken. Bei einer hohen Anzahl an Sonnenflecken wird von einer hohen Aktivität gesprochen, bei einer niedrigen Anzahl an Sonnenflecken von geringer Aktivität. Bei einer hohen Aktivität steigt zwar der Anteil der Solarstrahlung, der Anteil der galaktischen Strahlung sinkt allerdings, was zu einer reduzierten Strahlung in Jahren mit vielen Sonnenflecken führt.

Der Ursprung der kosmogenen Radionuklide ist die kosmische Primärstrahlung. Die Protonen und Heliumkerne, die den größten Teil der kosmischen Strahlung ausmachen, wechselwirken mit den Molekülen der Luft und zwar insbesondere Sauerstoff (O-16) und Stickstoff (N-14). So entstehen unter anderem die kosmogenen Radionuklide Kohlenstoff-14 und Tritium. Kohlenstoff als CO_2 und Tritium, als Wassermolekül, nehmen stark am Stoffwechselkreislauf auf der Erde teil und sind überall auf der Erde vorzufinden.

Die hochenergetischen Teilchen der kosmischen Strahlung, die Protonen und Heliumkerne, erreichen die Erdoberfläche unter normalen Umständen nicht, sondern lösen einen Schauer an Sekundärteilchen, bestehend aus Photonen und Elektronen, aus.

Die Atmosphäre sorgt zwar für die Entstehung der Sekundärteilchen, schirmt aber vor der hochenergetischen kosmischen Strahlung ab. Atomkerne und Pionen können in höheren Schichten gefunden werden, die tieferen Schichten der Atmosphäre können sie allerdings nicht erreichen. Auf Meereshöhe sind vergleichsweise wenig Nukleonen (hauptsächlich Neutronen) vorzufinden und auch die Anzahl der Elektronen nimmt stark ab, während die Anzahl an Myonen geringfügig abnimmt. Damit sind Myonen auf Meereshöhe ein großer Anteil der Sekundärteilchen. Mit steigender Höhe nimmt aber die Teilchenflussdichte zu und bei einer Höhe von zehn bis zwanzig Kilometern Höhe, ist die Flussdichte der Sekundärteilchen maximal.

Mit typischen Flughöhen von Passagierflugzeugen im Bereich von 10.000 bis 15.000 Metern, ist damit die auf den Menschen wirkende kosmische Strahlung deutlich erhöht. Bei Flügen gleicher Distanz kann es zu unterschiedlichen effektiven Dosen kommen. Das ist auf unterschiedliche Flughöhen und Nähe zum Äquator zurückzuführen, da am Äquator die Abschirmung durch das Erdmagnetfeld stärker als an den Polen ist. [14] Das Helmholtz-Zentrum München bietet mit EPCARD ONLINE einen Web-Service an, mit dem die Dosis durch kosmische Strahlung während eines Flugs berechnet werden kann. Zusätzlich dazu kann an einem

bestimmten Ort in der Atmosphäre die akkumulierte Dosis bei einer Aufenthaltsdauer von einer Stunde bestimmt werden. [24]

3.2.6 Überblick durchschnittlicher Strahlungswerte

Die aufgeführten Quellen natürlicher Radioaktivität wirken unterschiedlich auf den Menschen ein. So kann unterschieden werden zwischen externer und interner Strahlenbelastung. Bei der internen Strahlenbelastung wird von der Aufnahme über den Atem und die Aufnahme über die Nahrung unterschieden. Der größte Teil der Strahlenbelastung, die auf natürliche Ursachen zurückzuführen ist, ist das Einatmen von Radon und seinen radioaktiven Folgeprodukten. Sie verursachen im Schnitt im Jahr eine effektive Dosis von 1,1 mSv.

Die zweite Ursache der internen Strahlenbelastung, die Aufnahme von Nahrungsmitteln, verursacht im Jahr im Durchschnitt eine effektive Dosis von 0,3 mSv. Kalium-40 verursacht im Schnitt bei Erwachsenen eine effektive Dosis von $0,165 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ und bei Kindern ca. $0,185 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$. Damit ist Kalium-40 für mehr als die Hälfte der durch Nahrung verursachten Strahlungsbelastung verantwortlich.

Die externe Strahlungsbelastung teilt sich in die terrestrische Strahlung und die kosmische Strahlung. Die terrestrische Strahlung ist an der effektiven Dosis mit $0,4 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ beteiligt, wobei $0,1 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ auf Quellen im Freien und $0,3 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ auf Quellen innerhalb von Gebäuden zurückzuführen sind. Der Unterschied kommt durch die im Durchschnitt niedrigere Aufenthaltsdauer im Freien, mit 2000 Stunden im Jahr, als in Innenräumen, mit 7000 Stunden im Jahr.

Die kosmische Strahlung wirkt an der effektiven Dosis mit ca. $0,3 \frac{\text{mSv}}{\text{a}}$ mit. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass beim regelmäßigen Fliegen schnell erhöhte Dosiswerte zu erwarten sind. Flugpersonal zum Beispiel weist Jahrespersonendosen bis zu 6 mSv im Jahr auf.

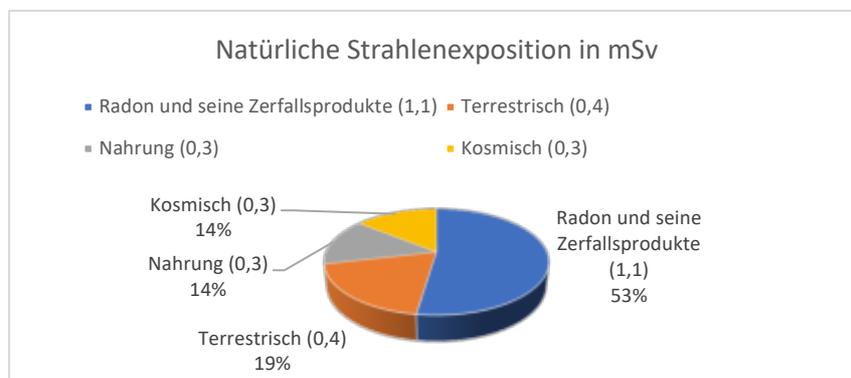


Abbildung 2: Natürliche Strahlenexposition in mSv (Diagramm mit Daten des Bundesamts für Strahlenschutz hergestellt) [15]

4 Das Exit-Spiel zur natürlichen Radioaktivität

4.1 Das Spielkonzept

Die preisgekrönte Spiel-Serie „Exit-Das Spiel“ und die dazugehörigen Spiele sollen den Spieler:innen das Gefühl der Live-Escape-Rooms nahe bringen. Die Spielautoren Inka und Markus Brand haben in Kooperation mit dem KOSMOS-Verlag die Essenz der Escape-Rooms in ein Brett- und Gesellschaftsspiel gebannt.

In einem Live-Escape-Room haben die Spielenden ein Ziel, welches sie erfüllen sollen. Das kann abhängig vom Escape-Room unterschiedlich sein. So gibt es Escape-Rooms in denen man eingesperrt wird und innerhalb einer festgesetzten Zeitspanne den Weg herausfinden muss. Andere Escape-Rooms sperren die Spieler:innen nicht ein, verlangen jedoch das Erreichen eines anderen Ziels. Gemeinsam haben alle Arten von Live-Escape-Rooms aber, dass, um sie zu lösen, Rätsel und Aufgaben gelöst werden müssen. Dazu steht den Spielenden das Material innerhalb der vorgesehenen Räume zur Verfügung und sie können, falls sie an bestimmten Stellen nicht weiterwissen, Hinweise erbeten. Diese werden zum Beispiel über Funk, wenn die betreuende Person die Spieler:innen über ein Kamerasystem beobachtet, oder von einer Begleitperson direkt mitgeteilt. Live-Escape-Rooms führen die Spieler:innen durch eine Geschichte in das Thema ein, und das Spiel beginnt dann ab einem kritischen Punkt in der Geschichte. Die Spielenden müssen mit logischem Denken, Geschicklichkeit und Teamwork die Rätsel und Aufgaben lösen, wobei ihnen verschiedene Requisiten und Material zur Verfügung stehen. Diese können frei verwendet werden und den Spielenden ist in der Art der Benutzung dieser Requisiten keine Grenzen gesetzt.

Inka und Markus Brand haben dieses Spielkonzept auf die Kategorie der Brettspiele angewandt und viele der oben genannten Merkmale von Live-Escape-Rooms lassen sich wiederfinden. So werden die Spieler:innen auf das Thema des Exit-Spiels eingestimmt, indem sie die zugehörige Geschichte lesen. Beim Lesen der Geschichte wird auch das Ziel der Spieler:innen klar. Das Ziel des Spiels kann variieren: Das Ziel in „Der Flug ins Ungewisse“ ist es, die Bordelektronik eines Flugzeugs zu reparieren, bevor das Motorversagen zum Absturz führt. „Der Friedhof der Finsternis“ führt die Gruppe auf der Suche nach einem Schatz auf einen verlassenen Friedhof. Die Geschichte führt die Spieler:innen nicht nur in das Spiel ein, sondern leitet sie durch die verschiedenen Rätsel, die es zu lösen gilt. Diese Rätsel werden in Form von Rätselkarten präsentiert. Eine Rätselkarte zählt aber nicht immer zu einem Rätsel. Stattdessen wirken die Rätselkarten im Tandem mit einem sogenannten „Notizbuch“. Dieses Notizbuch ist in allen Exit-Spielen wiederzufinden, auch wenn es in einigen einen anderen Namen hat. Das Notizbuch

liefert Material, welches benötigt wird, um die Rätsel zu lösen. Neben den Rätselkarten und dem Notizbuch gibt es auch noch zusätzliches Material, das an verschiedenen Stellen zum Einsatz kommt. Zu einem Rätsel gehören in der Regel auch mehrere Rätselkarten. Diese Menge an Requisiten können eine Person leicht überwältigen. Sollte man an einer Stelle nicht weiterwissen, so können die Hilfs-Karten zu Rate gezogen werden. Zu jedem Rätsel gibt es drei Hilfs-Karten, die sich unterteilen in den „1. Tipp“, den „2. Tipp“ und die „Auflösung“. Abgerundet werden die Karten von den Lösungskarten. Nach erfolgreichem Lösen der Rätsel, wird man auf die richtige Lösungskarte hingewiesen, die die Gruppe in der Geschichte voranbringt und zum nächsten Rätsel führt. Die Lösung der Rätsel ist nicht immer auf den ersten Blick eindeutig. Zu den Exit-Spielen gehört auch immer eine Codier-Scheibe. Der auf dieser Scheibe eingegebene Code gibt den Spieler:innen den Hinweis auf die richtige Lösungskarte. Neben den richtigen Lösungskarten gibt es auch falsche Lösungskarten. Wird ein Rätsel falsch gelöst, so führen die falschen Lösungskarten die Spielenden einen Schritt zurück und fordern dazu auf, nochmal nachzudenken. Angelehnt an Live-Escape-Rooms werden Exit-Spiele auf Zeit gespielt und die Anzahl an Hilfs-Karten, die benötigt werden, zählen in die Gesamtwertung mit ein. Doch das erfolgreiche Lösen eines Exit-Spiels zählt auch schon als Erfolg. So wird in der Anleitung darauf hingewiesen, dass das Zeitstoppen für wettkampforientierte Spieler:innen ist, die gerne wissen wollen, wie sie abgeschnitten haben. Exit-Spiele gibt es in drei Kategorien. Das Einsteiger-Level ist ausgelegt für Spieler:innen, die noch keine oder wenig Erfahrung mit Live-Escape-Rooms haben. Das Level für Fortgeschrittene ist für Spieler:innen, die bereits mehrere Live-Escape-Rooms gespielt haben und das Profi-Level ist für Spieler:innen, die bereits mehrere Spiele im Fortgeschrittenen-Level gemeistert haben.

Exit-Spiele können nur einmal gespielt werden und sind in dieser Form unter den Brettspielen wahrscheinlich einzigartig. Das einmalige Spielerlebnis stammt nur zum Teil davon ab, dass Requisiten gefaltet, bemalt und zerschnitten werden. Diese könnten unter Umständen ersetzt werden. Stattdessen sind den Spieler:innen, die das Exit-Spiel bereits gespielt haben, die Probleme und ihre Lösungen bekannt und damit verliert das Spiel seine Herausforderung. [18, 19, 20, 21, 22, 23]

Auch mein Spiel folgt diesen Grundlagen. Ein Großteil meiner zehn Logikrätsel hat allerdings einen Bezug zu dem Thema der natürlichen Radioaktivität. Bei zwei der Logikrätsel fehlt dieser Bezug und hier ist die Problemlösekompetenz und Logik der Spieler:innen gefragt. Neben den Rätselkarten, Lösungskarten und Hilfskarten wird eine weitere Kategorie eingeführt, nämlich die Multiple-Choice-Karten. Zu acht von zehn Logikrätseln gibt es eine solche Multiple-Choice-Karte und diese helfen, die inhaltlichen Kompetenzen des Themas abzufragen. Zu jeder

Multiple-Choice-Karte gehören zwei neue Hilfskarten, die „1.Tipp“-Karte und die „Auflösung“-Karte. Diese Idee stammt von einer vorangegangenen Arbeit von Dennis Raulin und wird von Onno Maximilian Rüter fortgeführt. [22, 23]

4.2 Das Spielmaterial

Teil des Spiels sind 216 Karten. Diese sind aufgeteilt in 26 Rätselkarten, 10 richtige Lösungskarten, 8 Multiple-Choice-Karten, 46 Hilfskarten und 126 falsche Lösungskarten. Diese Karten und das Notizbuch „Gefahrenbericht“ führen die Spieler:innen durch das Spiel. Neben dem Gefahrenbericht und den Karten sind noch weitere Gegenstände Teil des Spiels: 1 Stecknadel, 1 Brief, 1 Poster, 1 Nuklidkarte und 5 seltsame Teile. Diese Requisiten werden während des Spiels benötigt, und die Spieler:innen werden aufgeklärt, wann diese anzuwenden sind. Um während des Spiels den Überblick zu behalten, liegen dem Spiel noch eine Anleitung und ein Handzählgerät bei. Das Handzählgerät wird im Folgenden als Dosimeter bezeichnet.

Da zur Lösung bestimmter Rätsel geschnitten und geschrieben werden muss, sollten Utensilien wie eine Schere, Stift und Papier bereitliegen. An einer Stelle muss auch ein QR-Code gescannt werden. Das setzt voraus, dass mindestens ein Handy in der Lage ist, QR-Codes zu lesen. Die verschiedenen Gegenstände und wie sie gebraucht werden, wird, wenn die einzelnen Rätsel vorgestellt werden, näher erläutert.

Die Designs der einzelnen Spielkarten sind von der vorangegangenen Arbeit von Dennis Raulin übernommen worden. [22] Dies soll ein einheitliches Erscheinen der Spiele des Instituts gewährleisten. So wurden die Designs auch in dem Spiel von Onno Rüter verwendet. [23]

4.3 Die Spielvorbereitung

Vor Spielbeginn sollten der Gefahrenbericht, die Spielkarten, Stift, Papier, die Schere und die Anleitung bereitliegen. Auch das Handy, welches imstande ist, QR-Codes zu lesen, sollte bereit liegen.

Die Spielkarten sollten in vier Stapel aufgeteilt werden. Die Rätselkarten sind mit Buchstaben versehen und sollten aufsteigend sortiert werden. Das bedeutet, dass die Rätselkarte A oben liegt und die Rätselkarte Z unten. Der zweite und dritte Stapel sind die Multiple-Choice-Karten und die Lösungskarten. Der vierte Stapel sind die Hilfskarten. Diese haben alle ein Zeichen auf der Rückseite abgebildet. Zu acht Zeichen gehören fünf Hilfskarten und zu zwei Zeichen gehören drei Hilfskarten. Alle MC-Karten mit denselben Zeichen sollten zusammengelegt werden und hierbei sollte die Karte „1. Tipp“ oben liegen, gefolgt von „2.Tipp“, „Auflösung“, „1. Tipp Multiple-Choice“ und „Auflösung Multiple-Choice“. Beim Sortieren sollte darauf geachtet

werden, dass nur die Rückseiten der Karten zu sehen sind. Die Lösungskarten sollen nach Zahlen, Elementen und Jahren aufsteigend sortiert werden. Auch hier gilt, dass beim Sortieren die Vorderseiten verdeckt bleiben müssen.

4.4 Der Spielablauf

Es gibt in diesem Spiel keinen Spielplan. Wie die Räume aussehen und was passiert, müssen die Spieler:innen selber herausfinden. Zu Beginn des Spiels steht ein Notizbuch sowie ein Poster mit einem Kartenausschnitt und QR-Code zur Verfügung. Im Laufe des Spiels kommen Rätselkarten und Multiple-Choice-Karten dazu. Diese dürfen aus dem Stapel genommen werden, wenn die Texte darauf hinweisen. Zu acht von zehn Logikrätseln gehört ein Multiple-Choice-Rätsel. Das Thema des Logikrätsels gibt einen Hinweis darauf, welche Multiple-Choice-Karte dazugehört.

Ein Rätsel besteht aus den Rätselkarten und wenn es angesagt wurde, zusätzlichem Material. Die Lösung des Logikrätsels weist auf die Lösungskarte hin und sollte klar machen, welche die dazugehörige Multiple-Choice-Karte ist. Zu den Logikrätseln und MC-Rätseln gibt es Hilfskarten, die Unterstützung liefern.

Ein beispielhafter Spielablauf sieht wie folgt aus: Die Rätselkarte mit dem beschriebenen Buchstaben wird aus dem Stapel der Rätselkarten herausgesucht. Diese gibt den Hinweis zu weiteren Rätselkarten, die für das Logikrätsel benötigt werden. Auch zusätzliches Material wie der Gefahrenbericht oder z.B. die Stecknadel werden auf den Rätselkarten aufgeführt. Das Thema des Logikrätsels ist auch das Thema des Multiple-Choice-Rätsels. Den unterschiedlichen Antworten der Multiple-Choice-Rätsel sind Zahlen und Buchstaben zugeordnet und diese ergeben mit der Lösung des Logikrätsels das Lösungswort. Das Wort des Logikrätsels repräsentiert einen Standort einer Messstation in Deutschland. Besucht man über den QR-Code die ODL-Info-Seite und sucht nach dem Ort, findet man die Messstation. Der Kartenausschnitt schränkt die möglichen Messstationen ein. Durch das Klicken auf die Messstation, öffnet sich ein kleines Fenster mit einem Link „zur Messstelle“. Wird dem Link gefolgt, so erhält man eine Übersicht über die Messstelle und ganz oben steht die Postleitzahl der Messstelle. Diese Nummer ist die Lösung des Logikrätsels. Die richtigen Zahlen der MC-Rätsel müssen auf die Postleitzahl addiert werden und das zu dieser Zahl gehörende Element ist die Lösung des ganzen Rätsels. Sollte die falsche Lösungskarte gewählt werden, so erhöht sich die Dosis auf dem Dosimeter um 1 mSv.

Sollten während des Spiels Probleme auftauchen, können die Hilfs-Karten die Spieler:innen unterstützen. Zu jedem Logikrätsel gibt es zwei Tipps und eine Auflösung und zu jedem MC-

Rätsel einen Tipp und eine Auflösung. Für das Verwenden des 1. Tipps erhöht sich die Dosis des Dosimeters um 1 mSv, für den 2. Tipp um 2 mSv und falls die Auflösung zu Rate gezogen wird, um 3 mSv. Der erste Tipp für die MC-Rätsel erhöht die Dosis um 1 mSv und die Auflösung der MC-Rätsel um 3 mSv.

4.5 Die Handlung

Die Handlung des Spiels ist in dem Regel- und Ablaufheft des Spiels zu finden. Eine Schulklasse hat am letzten Tag der Klassenfahrt ins Erzgebirge einen Ausflug unternommen und im Wald ein paar Steine als Erinnerungsstücke mitgenommen. Am Abreisetag wird die Gruppe der Schüler:innen jedoch beim Sicherheitscheck des Internationalen Flughafens Erzgebirge Aue herausgezogen. Ihr Gepäck ist auffällig geworden und wird zur weiteren Untersuchung eingezogen. Die Schüler:innen, die weder ihr Gepäck noch ihre Souvenirs verlieren wollen, begeben sich auf die Suche nach ihrem Gepäck und geraten an den Strahlenschutzbeauftragten (SSB) des Flughafens, der ihnen ihr Gepäck zurückverspricht, wofür sie allerdings einige Rätsel lösen müssen. Die Spieler:innen begeben sich in das Büro des SSB und finden dieses leer vor. Statt des SSB finden sie nur den Gefahrenbericht und das Poster vor. Diese beiden Gegenstände führen die Spieler:innen in das Spiel ein. Die folgenden Rätsel greifen die Handlung immer wieder auf und führen die Spielenden in die nächsten Räume. Nach dem Büro wird über das Treppenhaus der Keller betreten und nachdem dort eine Lüftungsanlage angeschaltet worden ist, steigen die Spieler:innen in ihr Flugzeug zurück nach Hannover. Doch auch hier müssen Rätsel gelöst werden. Der SSB hat nämlich mittlerweile den Lehrer Herrn Klaus kontaktiert, der sich spontan Rätsel überlegt, um die Zeit im Flug zu füllen. Nach erfolgreicher Landung des Flugzeugs und Lösung der Rätsel, ist die letzte Hürde das Öffnen des Schließfaches in Hannover. Die Strahlenschutzbeauftragten beider Flughäfen haben Kontakt aufgenommen und eine sichere Überstellung des Gepäcks ausgemacht. Durch das Öffnen des Schließfachs gelangen die Spieler:innen an ihr Gepäck und das Spiel endet damit, dass sie ihren Familien und Freunden von ihrem Abenteuer erzählen.

Das Heft mit den Spielregeln und dem Spielablauf befindet sich im Anhang.

4.6 Vorstellung der einzelnen Rätsel

Das Spiel besteht aus zehn Rätseln. acht davon werden durch ein Multiple-Choice-Rätsel begleitet, während zwei reine Logikrätsel sind. Im Folgenden werden diese Rätsel vorgestellt. Eingeführt wird jedes Rätsels mit einem Einblick in die Handlung und anschließend folgt eine Vorstellung der Multiple-Choice-Rätsel und Hilfskarten.

4.6.1 Rätsel 1: Terrestrische Radionuklide

Nach der Spielvorbereitung haben sich die Spielenden die Regeln und die Handlung des Spiels durchgelesen und sind im Büro des Strahlenschutzbeauftragten angekommen. Dort finden sie das Notizbuch mit der Aufschrift „Gefahrenbericht“ und dem Strahlenwarnzeichen, sowie einem Poster. Auf dem Poster ist neben einem QR-Code eine Karte des den Flughafen umgebenden Gebietes abgebildet.



Abbildung 3: Poster

Das Büro ist der erste von vier Räumen. Hier wird das Thema der terrestrischen Strahlung behandelt und die Spieler:innen werden in die natürlichen Radionuklide eingeführt. Neben dem Poster steht den Spielenden der Gefahrenbericht zur Verfügung. Die erste Seite führt die Spieler:innen in das Spiel ein und lenkt die Aufmerksamkeit auf die Schreibtischschublade und den Wandtresor. Diese müssen geöffnet werden, um im Spiel voranzukommen. Der Text auf der ersten Seite lautet:

„Ich bin der Strahlenschutzbeauftragte des Flughafens. Ich habe mir Eure Koffer genauer angeschaut und der bei der Gepäckkontrolle erweckte Verdacht, es könne sich um radioaktive Gegenstände handeln, hat sich als wahr erwiesen. Bei den mitgeführten Steinen handelt es sich in der Tat um Pechblende. Ich Sorge dafür, dass Euer Gepäck sicher verpackt wird. Die Koffer werden auf Eurem Flug mitgeschickt allerdings dürft ihr sie nicht als Handgepäck mitnehmen, da von ihnen eine große Strahlenbelastung ausgeht. Stattdessen werden sie im Gepäckraum des Flugzeuges sicher transportiert. Im Flughafen Hannover werden sie dann in einem speziellen Schließfach zu eurer Abholung bereit sein. Ihr werdet eine Schließkombination dazu brauchen. Ich habe den ersten Teil der Kombination in meinem Wandtresor aufbewahrt. Den Code für

den Tresor findet Ihr in meiner Schreibtischschublade. Um diese zu öffnen, nehmt Rätselkarte S.“

Der Gefahrenbericht weist die Spielenden darauf hin die Rätselkarte S zu lesen. Die Karten und Seiten des Gefahrenberichts, die zum ersten Rätsel gehören sind mit einem Mond markiert. Die Rätselkarte S fordert die Spieler:innen auf, die zweite Seite des Gefahrenberichts aufzuschlagen.

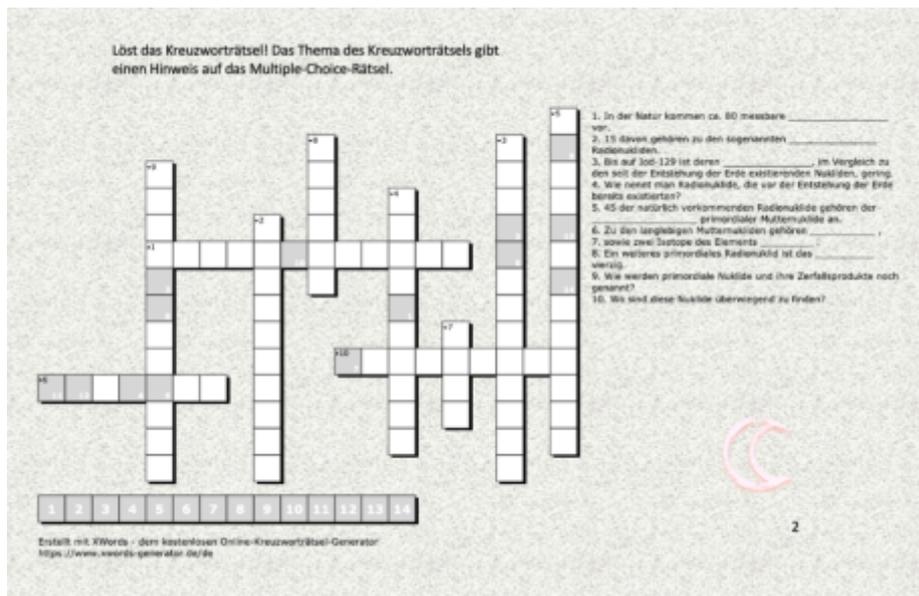


Abbildung 4: Gefahrenbericht Seite 2

Die Aufgabe der Spieler:innen ist es, das Kreuzworträtsel zu lösen. Das Thema sind die natürlichen Radionuklide, speziell die terrestrischen Radionuklide. Sollten Probleme auftauchen, liefern die Hilfskarten folgende Unterstützung:

- 1. Tipp: „Die Fragen beziehen sich auf natürlich vorkommende Nuklide.“
- 2. Tipp: „Bei drei der Fragen geht es um primordiale Nuklide. Eine Frage bezieht sich auf den Fundort dieser Nuklide. Eine Frage bezieht sich auf die Zeit, bei der von einem Isotop nur noch die Hälfte übrig ist.“
- Auflösung: „1. Radionuklide, 2. kosmogenen, 3. Halbwertszeit, 4. primordial, 5. Zerfallsreihe, 6. Thorium, 7. Uran, 8. Kalium, 9. terrestrisch, 10. Erdkruste
 Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte „Terrestrische Radionuklide“ aufmerksam geworden sein.“

Es ergibt sich das Lösungswort Oberwiesenthal.

Das Benutzen der Hilfskarten führt zu einer Erhöhung der Dosis entsprechend der oben genannten Bedingungen. Dies wird durch das Klicken auf dem Handzählgerät getan. Die zu dem Logikrätsel gehörende Multiple-Choice-Karte ist „Terrestrische Radionuklide“. Zutreffendes soll angekreuzt werden.

- Uran-235 ist das anteilmäßig wichtigere Isotop in natürlich vorkommendem Uran. (richtig: 2336, falsch: 1432)
- Kalium-40 ist kein Bestandteil der natürlichen Zerfallsreihen. (richtig: 4982, falsch: 5632)
- Die Zerfallsreihen von Uran-235, Uran-238, Thorium-232, sowie das Kalium-40 Isotop sind die Hauptverursacher der terrestrischen Strahlung. (richtig: 2312, falsch: 3478)
- Terrestrische Radionuklide sind bei der Betrachtung der Strahlenbelastung der Bevölkerung zu vernachlässigen. (richtig: 7241, falsch: 6825)

Die richtigen Antworten zu dem Multiple-Choice-Rätsel sind falsch (1432), richtig (4982), richtig (2312) und falsch (6825).

Folgt man der Codierung des Raums, die in der Anleitung beschrieben ist, so muss der QR-Code auf dem Poster gescannt werden. Dadurch öffnet sich die ODL-Info-Seite mit der Karte Deutschlands. [25] Auf der Karte sind Punkte zu finden, die verschiedene Messstellen und Messstation zeigen. Die Aufgabe ist es nun, die Messstation zu Oberwiesenthal zu finden. Die auf dem Poster abgebildete Karte schränkt das Gebiet, in dem sich diese Messstelle befindet, deutlich ein. Sobald die Messstation gefunden wurde, kann auf den Punkt geklickt werden und es taucht ein Fenster auf, mit der Option „Zur Messstelle“. Folgt man dem Link, wird man auf die Seite der Messstelle weitergeleitet und in der obersten Zeile steht die zu der Messstelle korrespondierende Postleitzahl. Die Postleitzahl für Oberwiesenthal lautet 09484. Werden auf diese Zahl die Zahlen aus dem MC-Rätsel aufaddiert, erhält man 25035. Diese Zahl ist die Lösung des ersten Rätsels und die Spieler:innen können die dazugehörige Lösungskarte nehmen. Der Inhalt der Lösungskarte „25035“ lautet: „Ihr habt den Code geknackt und die Schublade springt auf! In ihr findet Ihr eine Stecknadel, sowie die Rätselkarten B, H und G.“ Damit haben die Spielenden das erste Rätsel beendet und kommen zum zweiten.

4.6.2 Rätsel 2: Terrestrische Strahlung

Die Rätselkarte H hat mit dem zweiten Rätsel nichts zu tun und kann erst mal zur Seite gelegt werden. Die Rätselkarten G und B werden für dieses Rätsel genauso wie die Stecknadel benötigt. Das Zeichen dieses Rätsels ist der Kreis. Den Spieler:innen ist es gelungen, die Schublade zu öffnen und sie müssen nun den Wandtresor öffnen. Dazu lesen sie die Rätselkarte B und G. Rätselkarte G hat nur eine Abbildung und Rätselkarte B einen Text: „Ihr habt die Rätselkarte G gefunden und schlagt die Seite 3 im Gefahrenbericht auf. Mit dem Lösen dieses Rätsels, sollte es Euch gelingen, den Wandtresor zu öffnen. Die Stecknadel aus der Schublade hilft Euch vielleicht. Ein kleiner Tipp noch: Die Bilder im Gefahrenbericht geben einen Hinweis auf das Multiple-Choice Rätsel.“ Schlagen die Spieler:innen die 3. Seite des Gefahrenberichts auf, sehen sie verschiedene Bilder, Buchstaben und Kompassnadeln.

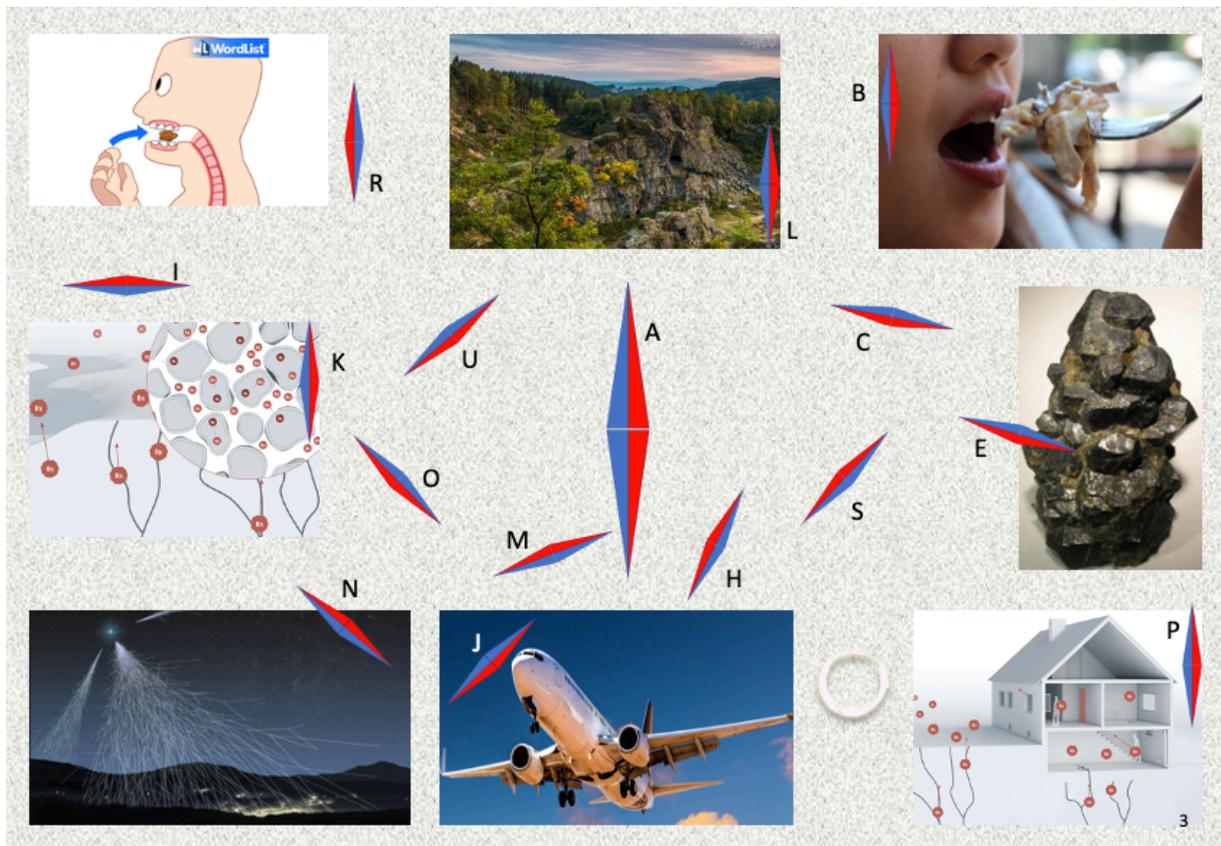


Abbildung 5: Gefahrenbericht Seite 3

Die Kompassnadel in der Mitte grenzt sich durch die Größe von den anderen Kompassnadeln ab und liefert den Startpunkt für dieses Rätsel. Die Kompassnadel auf Rätselkarte G liefert ein Mittel zur Orientierung. Wird die Kompassnadel auf Karte G ausgeschnitten und wie die große Kompassnadel ausgerichtet, zeigt der Pfeil der Karte G auf die nächste Kompassnadel. Die Stecknadel hilft hier, die beiden Kompassnadeln zu zentrieren und ermöglicht ein genaues

Arbeiten. Wiederholt man dieses Vorgehen, so werden in der Reihenfolge die Kompassnadeln mit den Buchstaben A, M, H, S, E, C und L besucht, bis man wieder auf der großen Kompassnadel landet. Die Buchstaben sind in Unordnung, doch mithilfe des Posters können sie zu dem Wort Schlema zusammengesetzt werden. Schlema ist die nächste Messstelle und hat die Postleitzahl 08301. Die Hilfe-Karten für dieses Logikrätsel sind:

- 1. Tipp: „Auf der Seite 3 im Gefahrenbericht ist eine große Kompassnadel abgebildet. Auch auf der Rätselkarte G ist eine Kompassnadel. Wozu die wohl gut sind? Die Bilder geben einen Hinweis auf das Multiple-Choice-Rätsel.“
- 2. Tipp: „Wird die Kompassnadel der Rätselkarte deckungsgleich mit den Farben über die Kompassnadeln im Gefahrenbericht gelegt, kommt Ihr auf zwei Bilder. Was haben diese Bilder gemeinsam? Und was könnten die Buchstaben an den Kompassnadeln bedeuten?“
- Auflösung: „Richtet man den Pfeil mit der Kompassnadel immer so aus, dass die Kompassnadeln in dieselbe Richtung zeigen, kommt man auf das Bild mit dem Uraninit und das Bild auf dem ein Berg abgebildet ist. Die Bilder sollen auf die Multiple-Choice-Karte „Terrestrische Strahlung“ aufmerksam machen.“ Die Buchstaben ergeben das Wort „SCHLEMA“.“

Zwei Kompassnadeln befinden sich auf Bildern. Die Bilder des Uraninits und des Berges haben gemeinsam, dass sie Quellen der terrestrischen Strahlung sind, während die restlichen 6 Bilder zu anderen Quellen der natürlichen Radioaktivität gehören. Dies führt die Spieler:innen zur Multiple-Choice-Karte „Terrestrische Strahlung“. Die Multiple-Choice-Karte für das Rätsel lautet:

- Terrestrische Strahlung wird hauptsächlich über die Detektion von Gamma-Strahlen gemessen. (3498)
- Gamma-Strahlen sind elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen im Bereich von $< 10^{-12}$ m. (12973)
- 95% der gemessenen Gamma-Strahlung an der Erdoberfläche geht von Quellen in mehreren Metern Tiefe aus. (1569)

- Messgeräte an der Erdoberfläche registrieren nur terrestrische Strahlung. (24935)
- Regen- und Schneefall beeinflussen an der Erdoberfläche aufgezeichnete Messwerte. (5289)

Den Spielenden stehen erneut Hilfskarten für das MC-Rätsel zur Verfügung. Auch bei den folgenden Rätseln ist dies der Fall, und sie werden nicht weiter erwähnt werden.

Die richtigen Aussagen sind 3498, 12973 und 5289 und ergeben, wenn sie auf die Postleitzahl der Messstelle Schlema addiert werden, die Zahl 30061. Diese Zahl ist die Lösung für das zweite Rätsel und die Spieler:innen können die entsprechende Lösungskarte herausuchen. Diese lautet: „Ihr hört ein Klicken aus dem Inneren des Tresors, als die Zahlen alle an den richtigen Ort springen und die Tür langsam aufschwingt. Im Tresor findet Ihr die Rätselkarte N und T sowie einen Brief und ein seltsam aussehendes Teil.“ Dadurch gelangen die Spielenden zum dritten Rätsel.

4.6.3 Rätsel 3: Radon, Thoron und Actinon

Das Zeichen dieses Rätsels ist eine Raute. Es stehen der Brief und die Rätselkarten N, T und H zur Verfügung. Die Rätselkarte T wird bei diesem Rätsel noch nicht benötigt. Da die Rätselkarten keine Anweisung geben, wird als nächstes der Brief gelesen. Der Text des Briefs lautet: „Wenn Ihr diesen Brief lest, dann habt Ihr es geschafft den Wandtresor zu öffnen. Das seltsame Teil, das ihr gefunden habt, ist eines von vieren. Ihr braucht alle vier, um das Schließfach im Flughafen in Hannover zu öffnen. Ich muss noch was im Keller erledigen. Wenn Ihr der Treppe in das erste Untergeschoss folgt, warte ich im abgesperrten Raum. Dort kriegt Ihr den nächsten Teil für die Kombination des Schließfachs. Um die Tür öffnen zu können, hilft euch Rätselkarte M.“ Die Spieler:innen dürfen damit die Karte M aus dem Stapel suchen, die die Handlung voranbringt: „Ihr findet die Treppe in den Keller. Auf einer der Treppenstufen findet Ihr die Rätselkarte W. Im Keller angekommen, fällt Euch direkt eine Tür ins Auge auf der das Strahlenwarnzeichen und die Aufschrift „Achtung!“ prangt. Neben der Tür ist ein kleines Fach angebracht, in dem Ihr eine Karlsruher Nuklidkarte und die Rätselkarte K findet.“ Die Spielenden haben nach dem Öffnen des Wandtresors den ersten Raum abgeschlossen und mit dem Betreten des Treppenhauses den zweiten Raum, den Keller, betreten. Mit den Informationen aus der Rätselkarte M und dem Brief stehen den Spielenden alle Mittel zur Verfügung, um das dritte Rätsel zu lösen. Auf den Rätselkarten H, N und W befinden sich Abbildungen der Zerfallsreihen von Thorium-232, Uran-238 und Uran-235. Die Rätselkarte K gibt den Hinweis:

„In Eurem Besitz befinden sich bereits die Rätselkarten H, N und W. Zum Öffnen der Tür braucht Ihr dann nur noch Seite 4 aus dem Gefahrenbericht.“ Auf Seite 4 des Gefahrenberichts sind lauter Nuklide abgebildet, die in die Lücken der Zerfallsreihen eingesetzt werden müssen.

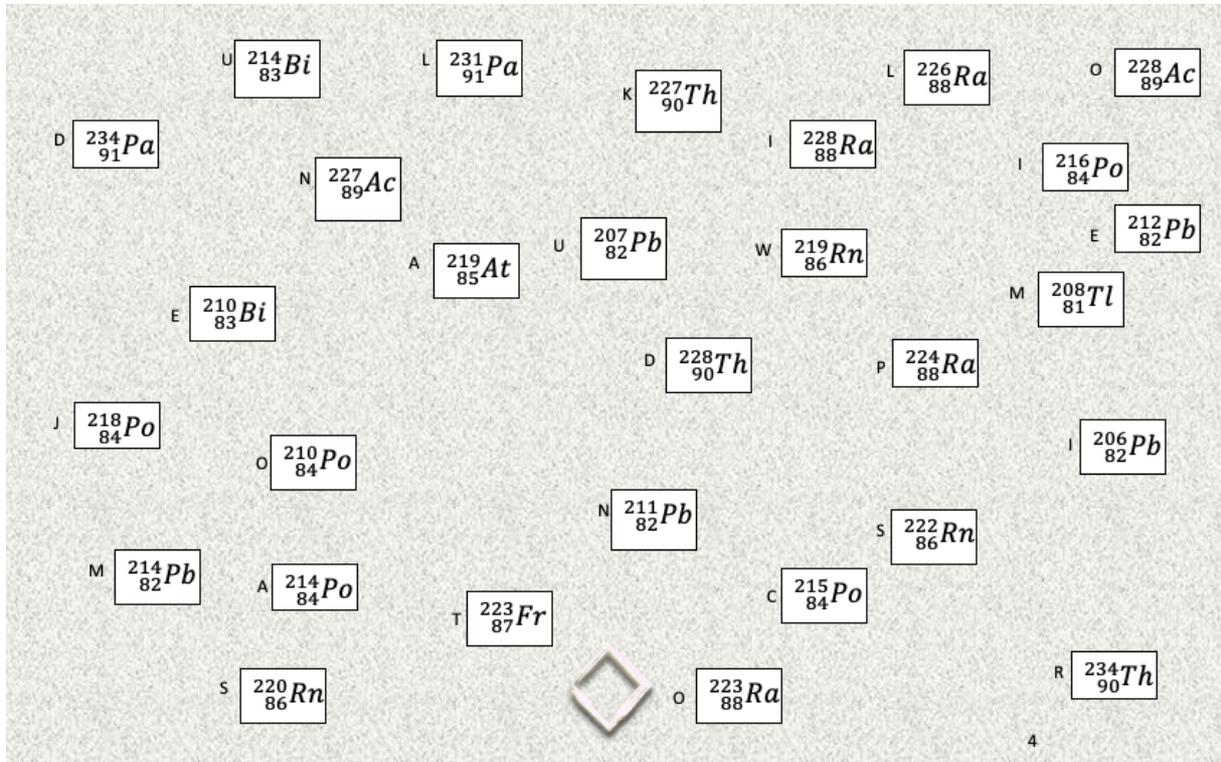


Abbildung 6: Gefahrenbericht Seite 4

Die Nuklide sind mit Buchstaben versehen und in einigen der Lücken in den Zerfallsreihen sind Zahlen. Setzt man mit Hilfe der Nuklidkarte die richtigen Nuklide ein, so ergibt sich das Element Polonium. Auch hier stehen Hilfskarten zur Verfügung:

- 1. Tipp: „Auf der Seite 4 im Gefahrenbericht sind verschiedene Isotope. Auf den Rätselkarten H, N und W scheint es freie Felder zu geben.“
- 2. Tipp: „Auf den Rätselkarten sind die Zerfallsreihen von Uran-238, Uran-235 und Thorium-232 abgebildet. Die farbigen Kästchen weisen auf die Multiple-Choice-Karte hin.“
- Auflösung: „Tragt Ihr die verschiedenen Nuklide an den richtigen Platz in den Rätselkarten ein, erhaltet Ihr das Wort Polonium. Die farbig markierten Kästchen stehen für Rn-219, Rn-220 und Rn-222. Diese werden auch Actinon, Thoron und Radon genannt.“

Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte „Radon, Thoron und Actinon“ aufmerksam geworden sein.“

Die Multiple-Choice-Frage dazu lautet:

- Actinon hat mit 3,96 Sekunden die längste Halbwertszeit. (92)
- Radon ist ein Edelgas. (52)
- Radon entsteht aus natürlichem Uran in Böden und Gesteinen und kann sich in Innenräumen ansammeln. (37)
- Das Eindringen in Gebäude ist ein langsamer Prozess, weswegen Actinon und Thoron in höherem Maße als Radon vorliegen. (64)
- In Baumaterial aus natürlichem Gestein ist ein natürlicher Anteil an Uran, und somit auch Radon, enthalten. (44)
- Radon tritt im Mittel im Freien in höherer Konzentration als in Innenräumen auf. (43)
- Radon kommt regional in gleicher Konzentration im Boden vor. (15)
- Die jährliche effektive Dosis verursacht durch Inhalation von Radon, setzt sich zusammen aus 1,0 mSv/a in Räumen und ca. 0,1 mSv/a im Freien. (8)

Hier wird nach den falschen Aussagen gefragt und diese sind dementsprechend die 92, 64, 43 und 15. Zusammenaddiert ergeben sie 214 und mit dem Element Polonium ergibt sich das Nuklid Polonium-214. Mittels der Nuklidkarte kann nun die Halbwertszeit von Polonium-214 ermittelt werden. Diese ist 163,6 μ s und die Spieler:innen können die Lösungskarte mit entsprechender Aufschrift wählen. Der Text der Karte ist: „Die Anzeige des Sicherheitsschlusses leuchtet grün auf und Ihr betretet den Kellerraum. Ihr seht Euch genauer um und entdeckt auf einem Tisch ein Messgerät mit digitaler Anzeige. Auf ihr ist der Wert 1200 $\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ abzulesen. Daneben liegen die Rätselkarten P, F und J.“ Mit dieser Karte ist das dritte Rätsel abgeschlossen und das vierte Rätsel kann begonnen werden.

4.6.4 Rätsel 4: Radon in Innenräumen

Der Kellerraum wird betreten und neben dem Messgerät fallen den Spielenden noch die Rätselkarten P, F und J auf. Damit haben sie neben den drei Karten immer noch die Rätselkarte T zur Verfügung. Die Rätselkarten T und J sind allerdings für das vierte Rätsel immer noch nicht wichtig. Karten und Material des vierten Rätsels sind mit einem Dreieck gekennzeichnet. Auf der Rätselkarte P ist das Zeichen „>>“ abgebildet und die Rätselkarte F erklärt, dass die $1200 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ nicht ungewöhnlich seien, zur Vorsicht aber dennoch die eingebaute Radonlüftung angeschaltet werden sollte. Dazu kann die Seite 5 im Gefahrenbericht zu Rate gezogen werden.



Abbildung 7: Gefahrenbericht Seite 5

Aus der Anleitung wird man auf den ersten Blick nicht schlau und sollte auch die Rätselkarte P keinen Ansatz zum Lösen des Rätsels liefern, dann helfen die Hilfs-Karten, im Austausch für eine Erhöhung auf dem Handzählgerät, weiter.

- 1. Tipp: „Die Rätselkarte P liefert einen Ansatz, die Anleitung besser zu verstehen.“
- 2. Tipp: „Außer Buchstaben und den „>>“ sind auch noch Pfeile in der Anleitung. Was wohl passiert, wenn man diesen folgt?“
- Auflösung: „Das Symbol „>>“ zeigt, wo Ihr mit dem Lesen beginnen müsst. Folgt Ihr der Leserichtung, so ergeben sich Wörter und Sätze. Sobald ein Pfeil kommt und der angezeigten Richtung gefolgt wird, ergibt sich der Rest des Textes.“

Aus der Anleitung kann entnommen werden, dass das Element Radium das Lösungswort des Logikrätsels ist und die Multiple-Choice-Karte „Radon in Innenräumen“ zu diesem Rätsel dazugehört. Die MC-Frage lautet:

- Radon-Folgeprodukte lagern sich an Aerosole an. (87)
- Die Zerfallsprodukte von Radon richten Schäden im Lungengewebe an. (54)
- Das Lüftungsverhalten hat keinen Einfluss auf die Radonkonzentration in Innenräumen. (74)
- Werden Radon und seine radioaktiven Folgeprodukte eingeatmet, steigt das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken. (85)

Die richtigen Aussagen sind die 87, 54 und 85 und ergeben aufaddiert 226. Zusammen mit dem Element Radium aus dem Logikrätsel ergibt sich das Nuklid Radium-226 mit der Halbwertszeit 1600 a. Die Lösungskarte mit der Aufschrift 1600 a lautet: „Die Radonlüftung geht an und langsam sinkt die Zahl auf der Anzeige des Messgeräts.

Beim Anschalten der Lüftung habt Ihr drei weitere Rätselkarten C, U und D gefunden. Die bereits gefundene Rätselkarte J und die Karten C und D scheinen zusammen zu gehören.“ Damit wird das vierte Rätsel abgeschlossen.

4.6.5 Rätsel 5: Telefonrätsel

Die Lüftungsanlage geht an, hat die Spieler:innen aber Zeit gekostet. Darauf weist auch die Rätselkarte C hin: „Dieses Rätsel besteht nur aus einem Logikrätsel. Die Karten D und J helfen Euch hier weiter. Schnelligkeit ist angesagt, denn das Anschalten der Lüftungsanlage hat länger gedauert als gedacht. Einen Tipp gebe ich Euch mit: Der Schlüssel zu diesem Rätsel liegt in der Farbe.“ Gekennzeichnet sind die Karten dieses Rätsels durch ein Quadrat. Auf den Karten D und J sind insgesamt sechs Kästchen mit zwei Ziffern dargestellt. Die Kästchen haben alle einen andersfarbigen Hintergrund. Die Hinweise, die in Form der Hilfs-Karten zur Verfügung stehen, sind:

- Tipp: „Die Farben können in eine bestimmte Reihenfolge gebracht werden. Das sollte auch Klarheit in den Zahlensalat bringen.“
- 2. Tipp: „Die Farben scheinen was mit dem Farbspektrum zu tun zu haben. Welche Zahlen könnten mit einer 0 beginnen? Diese Frage zu beantworten, könnte des Rätsels Lösung einen Schritt näherbringen.“
- Auflösung: „Die Farben stellen das Farbspektrum dar und können in der Reihenfolge Violett, Blau, Grün, Gelb, Orange, Rot sortiert werden. Dadurch ergibt sich die Telefonnummer 0511 762 14323.“

Wie die Rätselkarte C schon andeutet, gibt es zu diesem Rätsel kein MC-Rätsel. Rufen die Spieler:innen die Telefonnummer an, dann meldet sich der SSB über einen Anrufbeantworter zu Wort: „Herzlichen Glückwunsch! Ihr seid schon richtig weit gekommen. Ihr sprecht mit dem Strahlenschutzbeauftragten dieses Flughafens. Über die Kameraanlage konnte ich beobachten, dass Ihr Euch hervorragend beim Lösen der Rätsel geschlagen habt. Ich danke Euch auch für das Anschalten der Radonlüftung. Ich muss wohl vergessen haben, sie wieder einzuschalten, nachdem ich Änderungen an den Einstellungen vorgenommen habe. Ihr fragt Euch bestimmt, wo der zweite Teil des Codes versteckt ist. Nun, sorgt euch nicht. Ich habe in der Zwischenzeit nämlich mit Eurem Lehrer Herrn Klaus gesprochen und Eure Situation erklärt. Er bewahrt für mich den dritten Teil der Kombination auf. Den zweiten Teil findet Ihr unter dem Tisch mit dem Messgerät. Jetzt aber flott! Das Flugzeug wartet nicht und ihr wollt bestimmt nicht nach Hannover laufen. Eine Abkürzung zu Eurem Terminal findet Ihr, wenn Ihr die Lösungskarte mit der Aufschrift Rn-222 lest.“ Die Idee eine automatisierte Antwort zu verwenden, wurde durch das Exit-Spiel „Die Känguru Eskapaden“ von Inka und Markus Brand und Marc-Uwe Kling inspiriert. [19]

Mit dem Lesen der Lösungskarte Rn-222 wird der zweite Raum abgeschlossen. Der Text auf der Karte lautet: „Nach dem Telefongespräch macht Ihr euch über die Abkürzung auf den Weg zum Terminal. Herr Klaus hält Euch an, Euch besser zu beeilen. Ihr setzt Euch im Flugzeug auf Eure Plätze. *Der Strahlenschutzbeauftragte hat mir erzählt, was passiert ist und mir einen Teil der Kombination gegeben. Zum Vertreiben der Zeit, habe ich ein paar Rätsel mitgebracht.* Ihr erhaltet von Herrn Klaus die Rätselkarten Q, R, X, L und V.

Die Kombination kriegt Ihr von mir, falls Ihr es schafft die Rätsel zu lösen.“

Diese Lösungskarte leitet den dritten Raum und das sechste Rätsel ein.

4.6.6 Rätsel 6: Ingestion

Neben den gerade erhaltenen Karten Q, R, X, L, und V stehen noch die Rätselkarte T und U zur Verfügung. Für das sechste Rätsel werden die Rätselkarten T, Q, X, L, und V benötigt. Die Rätselkarte R kann erstmal zur Seite gelegt werden. Nachdem die Spieler:innen mit dem Strahlenschutzbeauftragten telefoniert haben, werden sie am Terminal von Herrn Klaus begrüßt, der im Flugzeug verschiedene Rätsel mit Ihnen spielen will. Das erste dieser Rätsel wird eingeleitet von der Rätselkarte T: „Die Rätselkarte Q gibt Euch einen Hinweis für das nächste Rätsel. Der Strahlenschutzbeauftragte hat mir außerdem erzählt, Ihr hättet den Gefahrenbericht mitgenommen. Seite 6 sollte Euch beim Lösen der Rätsel helfen.“, fügt Herr Klaus hinzu.“ Auf Seite 6 des Gefahrenberichts ist ein Periodensystem abgebildet. Dieses Periodensystem kann, im Sinne der Anleitung, zur Entschlüsselung der Codierung benutzt werden. Auf der Rätselkarte Q sind nur zwei Buchstaben abgebildet. Die Buchstaben „SN“ geben den Ansatz zur Lösung des Rätsels. Werden die Buchstaben nämlich laut ausgesprochen, kann das Wort „Essen“ rausgehört werden. Damit kann schnell der Zusammenhang zu den Begriffen auf den Karten X, L und V hergestellt werden. Wählen die Spieler:innen die essbaren Objekte, ergibt sich das Element Argon mit der Ordnungszahl 18. Außerdem sollten die Spieler:innen auf die MC-Karte „Ingestion“ aufmerksam geworden sein. Sollte dies nicht der Fall sein, kann auf die Hilfskarten zurückgegriffen werden.

- Tipp: „Die Rätselkarte Q laut vorzulesen, könnte Euch helfen, der Lösung des Rätsels näher zu kommen.“
- 2. Tipp: „Einige der Begriffe auf den Rätselkarten X, L und V haben etwas mit der Rätselkarte Q gemein. Ob das Zufall ist?“
- Auflösung: „SN laut ausgesprochen klingt wie Essen. Auf den Rätselkarten X, L und V sind Begriffe zu finden, die essbar sind. Die richtigen Objekte sind Nüsse, Apfel, Salat Milch und Fleisch. Das erste Element ist Argon mit der Ordnungszahl 18. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte *Ingestion* aufmerksam geworden sein.

Das Multiple-Choice-Rätsel lautet:

- Lebensmittel enthalten keine natürlichen Radionuklide. (RA)

- Zerfallsprodukte der Uran-Radium-Reihe lassen sich in pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln finden. (P)
- Nahrungsmittel tragen zur Ingestionsdosis deutlich mehr bei als das Trinken von Wasser und Mineralwasser. (UM)
- Kalium liefert den kleinsten Beitrag zu der Strahlenbelastung durch Ingestion. (ON)
- Kosmogene Radionuklide, wie Tritium, Be-7 und C-14 tragen geringfügig zur verzehrsbedingten Dosis bei. (TO)
- Für eine gesunde Ernährung sollte Kalium auf jeden Fall gemieden werden. (HA)
- Polonium-210, Blei-210, Radium-228 und Radium-226 sind Radionuklide aus natürlichen Zerfallsreihen, die stark zur Exposition durch Ingestion beitragen. (NI)
- Der Verzehr von 2 Paranüssen am Tag kann die Ingestionsdosis durch natürliche Radionuklide um bis zu 160 $\mu\text{Sv/a}$ erhöhen. (LU)

Die richtigen Aussagen sind P, UM, TO, NI und LU und es ergibt sich das Element Plutonium mit der Ordnungszahl 94. Addiert man die Ordnungszahl vom Argon (18) auf die des Plutoniums (94), erhält man die Ordnungszahl 112 und das zugehörige Element Copernicium. Copernicium ist damit die Lösungskarte des 6. Rätsels und lautet: *„Mensch, das Rätsel hat Euch aber echt nicht lange aufgehalten, was? Aber keine Sorge, ich habe Euch noch ein weiteres Rätsel mitgebracht.“* Ihr erhaltet die Rätselkarten A und E. *„Die 7. Seite im Gefahrenbericht könnte sich als hilfreich erweisen.“*, teilt Herr Klaus Euch mit.“ Diese Lösungskarte schließt das sechste Rätsel ab und die Spieler:innen erhalten die Rätselkarten A und E.

4.6.7 Rätsel 7: Kalium-40

Nach dem erfolgreichen Lösen von Herrn Klaus' Rätsel stehen den Spieler:innen noch die Rätselkarten A, E, U und R zur Verfügung. Das siebte Rätsel ist das zweite, welches Herr Klaus stellt, und es werden die Rätselkarten A, E und U sowie die 7. Seite des Gefahrenberichts benötigt. Zum 7. Rätsel gehörendes Material ist durch ein ausgehöhltes Dreieck gekennzeichnet. Auf der Seite 7 des Gefahrenberichts ist ein Ausschnitt der Nuklidkarte abgebildet.

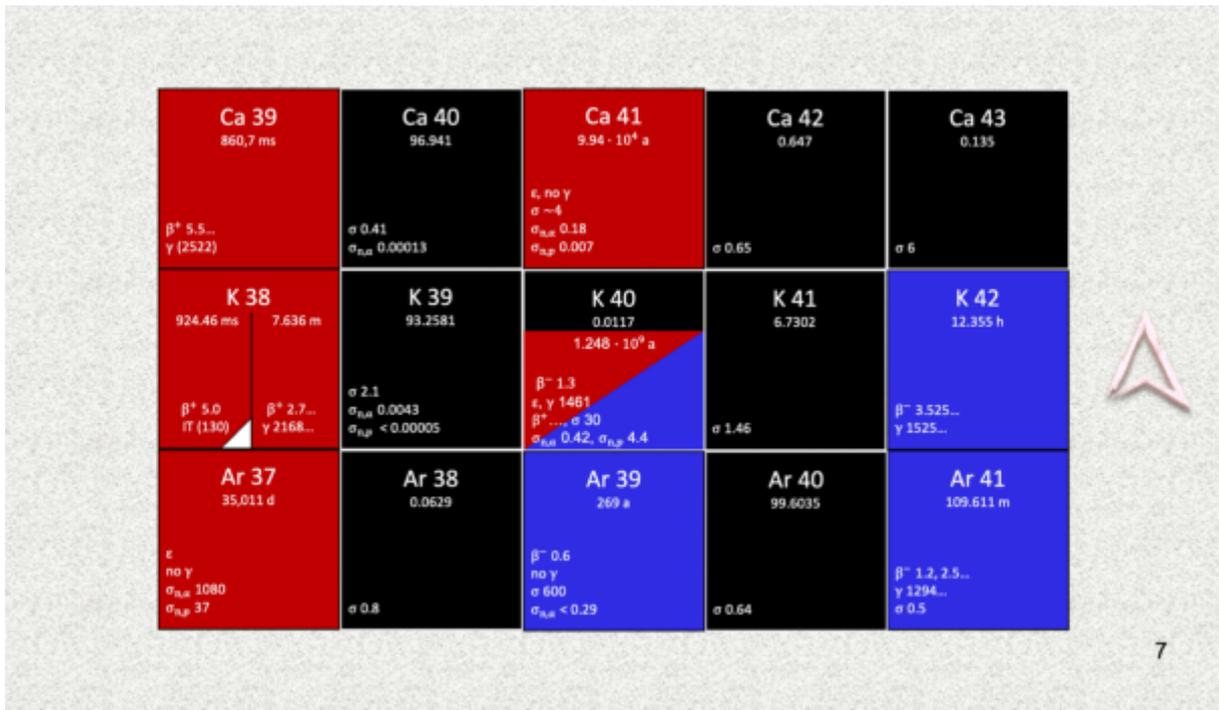


Abbildung 8: Gefahrenbericht Seite 7

Dieser Ausschnitt stellt unter anderem die stabilen Kalium-Isotope Kalium-39 und Kalium-41 und das primordiale Kalium-40 dar. Auf den Rätselkarten A, E und U sind drei Texte abgebildet. Diese Texte ergeben aber keinen besonderen Sinn. Der Ausschnitt der Nuklidkarte soll den Hinweis liefern, dass die Texte Wort für Wort in der Reihenfolge des Anteils an natürlichem Kalium gelesen werden müssen. So wird begonnen mit dem ersten Wort des Textes zu Kalium-40, gefolgt von dem ersten Wort von Kalium-41 und dem ersten Wort von Kalium-39. Darauf folgen die zweiten Wörter in derselben Reihenfolge. Dem geschulten Auge fallen in einigen Wörtern Rechtschreibfehler auf. Diese sind mit Absicht platziert und ergeben das Element Osmium. Den Spieler:innen stehen auch hier die Hilfskarten zur Verfügung, sollten sie benötigt werden.

- 1. Tipp: „Die drei Rätselkarten A, E und U und die Seite 7 im Gefahrenbericht haben etwas mit natürlichem Kalium zu tun.“
- 2. Tipp: „Sortiert die Texte in aufsteigender Reihenfolge abhängig von ihrem Anteil an natürlichem Kalium und Ihr erhaltet den vollständigen Text. Es scheinen ein paar Buchstaben zu viel im Text zu sein.“

- Auflösung: „Die Reihenfolge, in der die drei Texte gelesen werden müssen, lautet: Kalium-40, Kalium-41 und Kalium-39. Wird von jeder Karte immer ein Wort genommen, ergibt sich der Text. Die überflüssigen Buchstaben ergeben das Element Osmium.“

Es wird auf die MC-Karte „Kalium-40“ hingewiesen, deren Fragen wieder in richtig und falsch aufgeteilt sind.

- Die von Kalium verursachte Exposition beim Verzehren von Nahrung lässt sich nicht verhindern. (richtig: N, falsch: P)
- Die im Jahr, durch Kalium-40 verursachte, durchschnittliche effektive Dosis für Erwachsene liegt bei ca. 0,18 mSv. (richtig: N, falsch: L)
- Ungefähr die Hälfte unserer Eigenaktivität stammt vom Kalium-40. (richtig: O, falsch: A)
- Die Strahlenbelastung durch Ingestion ist um den Faktor 10 höher als die durch Inhalation und externer Bestrahlung. (richtig: M, falsch: E)

Die anzukreuzenden Aussagen sind richtig (N), richtig (N), richtig (O) und falsch (E). Es ergibt sich das Element Neon mit der Ordnungszahl 10. Wird auf die 10 die Ordnungszahl des Osmiums (76) draufaddiert ergibt sich die Ordnungszahl 86 und damit das Element Radon. Die Lösungskarte mit der Aufschrift Radon beendet das siebte Rätsel: „*Ihr habt meine Rätsel gelöst! Ich bin beeindruckt. Dafür bekommt Ihr den dritten Teil der Kombination. Den letzten übergibt Euch der Strahlenschutzbeauftragte bei der sicheren Landung in Hannover.*“, sagt Herr Klaus und übergibt Euch den dritten Teil der Kombination. In dem Moment wird das Flugzeug kräftig durchgeschüttelt, die Ansnallzeichen erscheinen und aus der Gepäckablage fallen die Rätselkarten I und O.“

4.6.8 Rätsel 8: Kosmische Primärstrahlung

Der dritte Raum ist abgeschlossen sobald die Spieler:innen das zweite Rätsel von Herrn Klaus lösen können. Der vierte Raum wird eingeleitet durch das 8. Rätsel. Dazu stehen den Spielenden nur die Rätselkarten I, O und R zur Verfügung. Die Rätselkarten I und R sind für spätere Rätsel vorgesehen und so bleibt die Rätselkarte O. Der Inhalt dieser Karte ist: „*Ihr hört über die Sprechanlage den Kapitän: „Sehr verehrte Damen und Herren, auf dieser Flughöhe haben wir eine Menge Turbulenzen. Wir versuchen, diese zu überfliegen.*“

Nach einigen Minuten erreicht Ihr die neue Flughöhe und die Anschallzeichen verschwinden. Ihr vernehmt auf einmal ein Piepen aus einem der Fächer des Flugpersonals. Auf dem Fach ist das Strahlenwarnzeichen abgebildet. Blättert auf die Seite 8 des Gefahrenberichts.“



Abbildung 9: Gefahrenbericht Seite 8

Der achten Seite des Gefahrenberichts können die Spieler:innen entnehmen, dass, im Zuge eines Forschungsprojekts, einige Messungen an Bord des Flugzeugs durchgeführt werden. Die Aufgabe der Spieler:innen ist es herauszufinden, was genau gemessen werden soll. Die Bilder auf der Seite haben alle etwas damit zu tun. Unten auf der Seite steht außerdem der Hinweis, dass es zu diesem Logikrätsel kein Lösungswort gibt, sondern nur zu dem Multiple-Choice-Rätsel. Die zur Verfügung stehenden Hilfskarten lauten wie folgt.

- Tipp: „Die drei Bilder stellen das Erdmagnetfeld, den Sonnenfleckenzyklus und Teilchen der Primärstrahlung beim Eintritt in die Atmosphäre dar.“
- 2. Tipp: „Die drei Bilder haben eine Gemeinsamkeit. Wenn Ihr diese findet, ist die Lösung zum Greifen nahe.“
- Auflösung: „Das Erdmagnetfeld und der Sonnenfleckenzyklus haben Einfluss auf die kosmische Primärstrahlung, die die Erde erreicht. Das 3. Bild soll Primärteilchen beim

Eintritt in die Atmosphäre darstellen. Zusammen soll auf die „Kosmische Primärstrahlung“ hingewiesen werden. Diese ist auch die nächste Multiple-Choice-Karte.“

Für dieses Logikrätsel gibt es kein eigenes Lösungswort. Um die Lösungskarte des achten Rätsels zu finden, muss das MC-Rätsel auf der Karte „Kosmische Primärstrahlung“ gelöst werden. Die zutreffenden Behauptungen sind maßgebend.

- Protonen und Heliumkerne sind die dominanten Teilchenarten der Primärstrahlung. (13)
- Die Galaktische Strahlung wird nicht durch das Erdmagnetfeld abgeschwächt. (17)
- Ein Sonnenfleckenzyklus beträgt 11 Jahre. (29)
- An den Polen ist die Strahlenbelastung durch kosmische Strahlung geringer als am Äquator. (7)
- Ein Teil der kosmischen Strahlung wird vom Sonnenwind abgelenkt. (23)
- Photonen, Elektronen und Kerne bis Eisen sind Teil der Galaktischen Strahlung. (14)
- Die Dosisleistung durch kosmische Strahlung auf 10 km Höhe beträgt einige $\mu\text{Sv/h}$. (19)

Die zutreffenden Behauptungen sind 13, 29, 23, 14 und 19 und ergeben, wenn sie aufaddiert werden, die Ordnungszahl 98 und das Element Californium. Die Lösungskarte mit der Aufschrift Californium schließt das 8. Rätsel ab und lautet: „Das erste Schloss springt auf! Der Piepton hat aber immer noch nicht aufgehört und langsam macht Ihr Euch Sorgen, was das wohl bedeutet. Für das nächste Rätsel braucht Ihr noch Seite 9 im Gefahrenbericht. Beim Umblättern fällt die Rätselkarte Z aus dem Notizbuch.“

4.6.9 Rätsel 9: Höhenstrahlung und Fliegen

Den Spieler:innen ist es gelungen, das erste Schloss des Faches zu öffnen. Doch um in das Innere des Faches zu gelangen, muss noch das zweite Schloss geöffnet werden. Die Rätselkarten Z, I und R stehen zur Verfügung und werden auch alle für dieses Rätsel benötigt. Auf den Rätselkarten I und R stehen mehrere Begriffe während die Rätselkarte Z hilfreicher ist: „Die Rätselkarten I, R und die Seite 9 aus dem Gefahrenbericht helfen Euch, das zweite Schloss zu

öffnen. Dann sollte es auch möglich sein den Piepton endlich auszustellen!“ Auf der neunten Seite des Gefahrenberichts ist eine Grafik abgebildet, auf der leere Textfelder verteilt sind. In einigen dieser Felder stehen Zahlen.

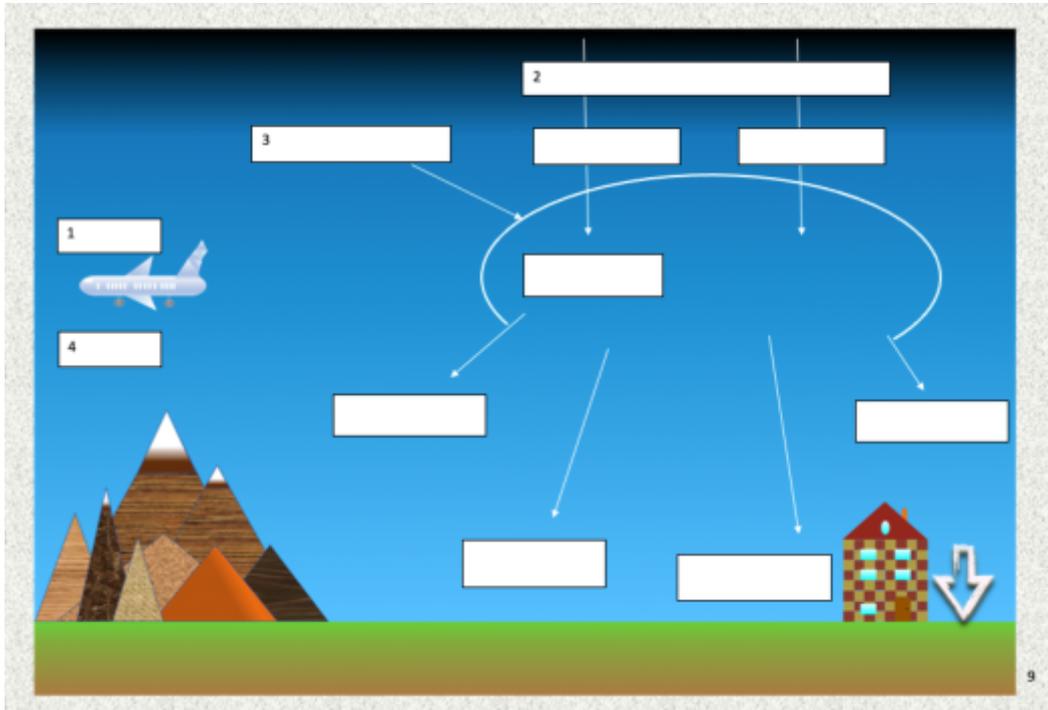


Abbildung 10: Gefahrenbericht Seite 9

Die Begriffe der Rätselkarten I und R können in die zugehörigen Felder eingesetzt werden und werden die beistehenden Buchstaben in der Reihenfolge der Zahlen aufgeschrieben, ergibt sich das Element Magnesium mit der Ordnungszahl 12. Die zur Verfügung stehenden Hilfskarten sind:

- 1. Tipp: „Was könnten die Zahlen in den Lücken bedeuten?“
- 2. Tipp: „Die abgebildete Grafik stellt den Eintritt der Galaktischen Strahlung in die Atmosphäre dar. Wofür wohl die zwei leeren Felder neben dem Flugzeug stehen könnten?“
- Auflösung: „Von oben nach unten und von links nach rechts: Kosmische Strahlung, Protonen, Heliumkerne, Atmosphäre, Sauerstoff, Stickstoff, C-14, H-3, Nukleonen, Myonen, Photonen und Elektronen. Felder neben dem Flugzeug: 15 km, 10 km. Es ergibt sich das Element Magnesium.“

Zu diesem Logikrätsel gehört die Multiple-Choice-Karte „Höhenstrahlung und Fliegen“. Die Spieler:innen müssen wieder zwischen richtig und falsch entscheiden.

- Mit zunehmender Flughöhe steigt auch die auf den Menschen wirkende kosmische Strahlung. (richtig: GA, falsch; EN)
- Teilchen der kosmischen Strahlung stoßen mit Kernen der Sauerstoff- und Stickstoffmoleküle in der Atmosphäre. (richtig: LI, falsch: CK)
- Auf Flügen gleicher Länge können abhängig von der Nähe zum Äquator unterschiedliche Dosen vorkommen. (richtig: DO, falsch: NI)
- Die durchs Fliegen erhaltene, jährliche effektive Dosis macht den größten Anteil der natürlichen Strahlenbelastung aus. (richtig: ZI, falsch: UM)
- Die durchschnittliche effektive Dosis durch kosmische Strahlung am Erdboden beträgt ca. 340 $\mu\text{Sv/a}$. (richtig: NI, falsch: OM)

Die anzukreuzenden Antworten sind richtig (GA), richtig (LI), richtig (DO), falsch (UM) und richtig (NI). Es ergibt sich das Element Gadolinium mit der Ordnungszahl 64 und wird diese auf die des Magnesiums addiert, erhält man die Summe 76 und das Element Osmium. Die Lösungskarte „Osmium“ lautet: „Das zweite Schloss geht auf und Ihr könnt das Dosimeter aus dem Fach nehmen. Ihr lest die Anzeige ab: $7 \frac{\mu\text{Sv}}{\text{h}}$. Herr Klaus, der das Piepen mitbekommen hat und sehen wollte was der ganze Wirbel soll, meldet sich zu Wort: „*Was Ihr da habt ist ein Dosimeter. Es scheint wohl so eingestellt zu sein, dass das Überschreiten einer bestimmten Dosisleistung einen Alarm auslöst. Wahrscheinlich kommt der Anstieg durch die zusätzliche Flughöhe. Das ist jedoch kein Wert, über den wir uns sorgen müssten.*“

Ihr begeben euch wieder an Eure Plätze und findet dort die Rätselkarte Y.“ Damit ist das neunte und vorletzte Rätsel abgeschlossen.

4.6.10 Rätsel 10: Die Kombination

Fast am Ende angekommen, bleibt nur noch die Rätselkarte Y übrig. Ihr können die Spieler:innen entnehmen: „Der Rest des Fluges verläuft ereignislos und bei der Landung erwartet Euch bereits der Strahlenschutzbeauftragte des Flughafens in Hannover. Er übergibt Euch das letzte Teil der Schließfachkombination und führt Euch an den Gepäckbändern vorbei, zu einem, mit dem Strahlenwarnzeichen markierten Schließfach. Dort liegt ein Eingabefeld bereit. Die 4 Teile der Kombination, sowie das Eingabefeld, sollten Euch helfen, dieses zu öffnen.“

Mit den vier Teilen der Kombination ausgestattet treten die Spieler:innen an das Schließfach. Das dort bereitstehende Eingabefeld ist die letzte Hürde, die die Spieler:innen von ihrem Gepäck und ihren Souvenirs trennt. Auch dieses Rätsel ist ein reines Logikrätsel und es gehört kein Multiple-Choice-Rätsel dazu. Das Logikrätsels ist inspiriert durch ein Rätsel des Exit-Spiels „Die vergessene Insel“ von Inka und Markus Brand. [21] Die folgenden Hilfskarten stehen den Spielenden zur Verfügung, sollten sie an dieser Stelle nicht weiterkommen.

- Tipp: „Die vier Teile der Kombination und das Eingabefeld haben alle dieselbe Größe. Ihr solltet sie vielleicht übereinanderlegen. Die Buchstaben geben an wo oben und unten ist.“
- 2. Tipp: „Zeichnet die Konturen der 4 Kombinationen nacheinander auf dem Eingabefeld ab. Die Lösung ist ein Nuklid.“
- Auflösung: „Es ergibt sich Th-232 als Lösung.“



Abbildung 11: Teil der Hilfs-Karte „Auflösung“ des 10. Rätsels

Die Lösungskarte Th-232 beendet das Spiel und lautet: „Ihr habt es geschafft! Das Schließfach geht auf und Ihr könnt endlich wieder Euer Gepäck an Euch nehmen.

Mit dem Gepäck verlasst Ihr die Sicherheitszone des Flughafens, wo Eure Familien bereits auf Euch warten. Ihr verabschiedet Euch voneinander und geht zu den Wartenden, um ihnen von Eurem kleinen Abenteuer zu erzählen. Wertet nun Euer Dosimeter und die Stoppuhr aus, um herauszufinden, wie gut Ihr Euch geschlagen habt.“

Die Spieler:innen werden am Flughafen von ihren Familien und Freunden empfangen und können den Flughafen mitsamt ihres Gepäcks verlassen.

Die Leistung kann anhand der Tabelle in der Anleitung abgelesen werden.

Tabelle 1: Punkteverteilung nach benötigter Zeit und erhaltener Dosis

	< 10 mSv	< 25 mSv	< 40 mSv	< 65 mSv	> 65 mSv
< 75 min	10 Punkte	8 Punkte	7 Punkte	6 Punkte	5 Punkte
< 90 min	9 Punkte	7 Punkte	6 Punkte	5 Punkte	4 Punkte
< 100 min	8 Punkte	6 Punkte	5 Punkte	4 Punkte	3 Punkte
< 120 min	7 Punkte	5 Punkte	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte
> 120 min	6 Punkte	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte	1 Punkt

Tabelle 2: Bewertungstabelle der erreichten Punktzahl

1 – 3 Punkte	Ihr solltet die Unterlagen zur natürlichen Radioaktivität unbedingt nochmal durchgehen. Auf die Prüfung seid ihr noch nicht gut genug vorbereitet.
4 – 6 Punkte	Ihr solltet die Unterlagen zur natürlichen Radioaktivität nochmal durchlesen. In großen Teilen sieht das schon ganz gut aus aber sicher ist sicher!
7 – 8 Punkte	Ihr habt Euch gut geschlagen. An einigen Stellen ist noch Nachholbedarf, aber das war eine solide Leistung!
9 – 10 Punkte	Ihr habt das Thema der natürlichen Radioaktivität drauf und habt Euch hervorragend geschlagen! Die Prüfung wird bei so einer Leistung keine Herausforderung darstellen.

4.6.11 Die verschiedenen Lösungsmöglichkeiten

Während des Spiels kann es dazu kommen, dass die Spieler:innen eine falsche Lösungskarte wählen. Wenn das der Fall ist, ist folgender Text zu lesen: „Das war leider nicht richtig! Versucht es nochmal und erhöht die Dosis Eures Dosimeters um 1 mSv.“ Aus den Kombinationen der Rätsel gibt es 126 solcher falscher Lösungskarten. Die Rätsel, bei denen aus Buchstaben Wörter gebildet werden, haben nur eine mögliche Lösung, während Rätsel bei denen Zahlen addiert werden mehrere haben. In der folgenden Tabelle sind die möglichen Lösungen aufgeführt.

Tabelle 3: Zuordnung der Lösungsoptionen zu den einzelnen Rätseln

Rätsel	Richtige Lösungsoptionen	Falsche Lösungsoptionen
1	25035	26355, 25939, 27521, 27005, 27755, 27105, 26101, 26589, 26617, 28171, 27267, 25685, 26201, 26851
2	30061	11799, 21274, 9870, 33236, 13590, 24772, 13368, 36734, 17088, 22843, 46209, 26563, 34805, 15159, 38525, 26341, 49707, 38303, 18657, 42023, 47778, 28132, 51498, 40094, 51276, 31630, 43592, 53067, 56565
3	163,6 μ s (Po-214)	1,40 ms (Po-187), 275 μ s (Po-188), 3,5 ms (Po-189), 22 ms (Po-191), 399 ms (Po-193), 0,392 s (Po-194), 4,64 s (Po-195), 5,60 s (Po-196), 53,6 s (Po-197), 5,47 m (Po-199), 11,5 m (Po-200), 15,6 m (Po-201), 44,6 m (Po-202), 36,7 m (Po-203), 3,53 h (Po-204), 1,66 h (Po-205), 5,8 h (Po-207), 2,898 a (Po-208), 138,476 d (Po-210), 516 ms (Po-211), 0,3 μ s (Po-212), 1,781 ms (Po-215), 0,15 s (Po-216), 3,098 m (Po-218), > 300 ns (Po-219, Po-220, Po-224), 550 s (Po-222), > 160 ns (Po-223, Po-225, Po-226)

4	1600 a (Ra-226)	1,66 ms (Ra-215), 2,73 m (Ra-213)
5	Rn-222	In diesem Rätsel liefert der SSB die korrekte Lösungskarte.
6	Copernicium (Z=112)	In diesem Rätsel werden nur die Buchstaben geliefert, die das richtige Lösungswort ergeben.
7	Radon (Z = 86)	In diesem Rätsel werden nur die Buchstaben geliefert, die das richtige Lösungswort ergeben.
8	Californium (Z = 98)	Zink (Z=30), Molybdän (Z=42), Calcium (Z=20), Krypton (Z=36), Cobalt (Z=27), Germanium (Z=32), Palladium (Z=46), Chrom (Z=24), Zirconium (Z=40), Gallium (Z=31), Tellur (Z=52), Technetium (Z=43), Cadmium (Z=48), Scandium (Z=21), Eisen (Z=26), Rubidium (Z=37), Arsen (Z=33), Praseodym (Z=59), Iod (Z=53), Ruthenium (Z=44), Indium (Z=49), Barium (Z=56), Terbium (Z=65), Promethium (Z=61), Selen (Z=34), Yttrium (Z=39), Zinn (Z=50), Caesium (Z=55), Thulium (Z=69), Neodym (Z=60), Silber (Z=47), Strontium (Z=38), Xenon (Z=54), Dysprosium (Z=66), Lutetium (Z=71), Samarium (Z=62), Actinium (Z=89), Quecksilber (Z=80), Astat (Z=85), Curium (Z=96), Mendelewium (Z=101), Wolfram (Z=74), Gold (Z=79), Ytterbium (Z=70), Protactinium (Z=91), Blei (Z=82), Thorium (Z=90), Americium (Z=95), Nobelium (Z=102), Uran (Z=92), Lawrencium (Z=103), Hassium (Z=108), Einsteinium (Z=99), Moscovium (Z=115), Neptunium (Z=93), Dubnium (Z=105), Meitnerium (Z=109)
9	Osmium (Z=76)	In diesem Rätsel werden nur die Buchstaben geliefert, die das richtige Lösungswort ergeben.
10	Th-232	In diesem Rätsel ist die Lösung durch die Form der vier Teile gegeben.

5. Einsatz des Exit-Spiels im Unterricht

5.1 Eingliederung in den Unterricht

Atom- und Kernphysik ist im Kerncurriculum des Landes Niedersachsen in der Sekundarstufe II angesiedelt. Da das dritte und vierte Semester oft kürzer ausfallen, bietet dieses Spiel die Möglichkeit, den Lernfortschritt der Schüler:innen zum Thema der natürlichen Radioaktivität im Besonderen zu überprüfen. Das Spiel setzt kernphysikalische Grundlagen voraus und deswegen sollten diese Kenntnisse unbedingt vorliegen.

Im Sinne des ersten Teils dieser Arbeit ist es notwendig, eine Überforderung der Schüler:innen zu vermeiden und so sollte das Thema der natürlichen Radioaktivität zumindest im Unterricht angesprochen worden sein. Es ist gut die Schüler:innen herauszufordern, aber nur so lange sie mit den Mitteln ausgestattet sind, die vorgelegten Probleme auch zu lösen. Von der Lehrkraft wird erwartet, einen guten Überblick über den Kurs zu haben und Stärken und Schwächen der Schüler:innen in diesem Themengebiet einschätzen zu können.

Sollten sowohl die kernphysikalischen Grundlagen vorhanden sein als auch die Grundkenntnisse zur natürlichen Radioaktivität, so kann das Spiel am Ende einer Unterrichtseinheit gespielt werden.

5.2 Zeitliche Anforderung

Konzipiert wurde das Spiel mit dem Ziel, in ca. 75 Minuten gespielt werden zu können. In den Testphasen wurde diese Zeit teilweise deutlich überschritten. Das hängt zum Teil aber auch damit zusammen, dass die Testspieler:innen nicht auf die Hilfs-Karten zurückgreifen, sondern alle Rätsel selber knacken wollten. Auch kann die Spielzeit reduziert werden, wenn das Konzept von Live-Escape-Rooms und Exit-Spielen bereits bekannt ist. Erfahrene Spieler sind in der Lage, die vorliegenden Informationen besser einzuordnen und so die Rätsel schneller zu lösen.

Auch wenn eine Spielzeit von 75 Minuten möglich ist, sollte mindestens eine Doppelstunde (90 Minuten) dafür eingeplant werden. Es kann von Schüler:innen nicht erwartet werden, den ganzen Schultag über aufmerksam zu sein und so sind vor Allem der Beginn und das Ende einer Stunde Phasen, in denen die Konzentration geringer ist. Im Idealfall werden das Konzept und die Spielregeln bereits vor der tatsächlichen Spielstunde angesprochen und die Schüler:innen auf das Spiel vorbereitet. Das kann die Vorbereitungszeit vor dem Spielen reduzieren.

5.3 Erneute Verwendung des Spiels und Nachproduktion des Materials

Exit-Spiele sollten nicht von den gleichen Personen wiederholt werden. Ein erneutes Spielen in demselben Kurs wäre also nicht förderlich. Das Spiel kann aber, wenn bestimmtes Material nachproduziert wird, mit einem anderen Kurs gespielt werden. Es ist nicht nötig, das ganze Spiel zu ersetzen. Da Exit-Spiele keine Grenzen setzen, welches Material z.B. zerschnitten wird, kann pauschal nicht immer gesagt werden, was ersetzt werden soll, aber das wahrscheinlichste Material, das in der einen oder anderen Form beschädigt wird, ist unten aufgeführt.

Tabelle 4: Material zur Nachproduktion

Kategorie	Nachzuproduzierendes Material
Rätselkarten	Die Rätselkarten D, G, H, I, J, N, R und W könnten in bestimmten Situationen zerschnitten oder beschrieben werden und sollten, wenn das der Fall ist, nachproduziert werden.
Gefahrenbericht	Der Gefahrenbericht muss jedes Mal nachproduziert werden. Falls Seiten nicht bemalt, beschrieben oder zerschnitten wurden, können diese wiederverwendet werden.
Sonstiges Material	Das Eingabefeld und die vier Teile der Kombination können beschrieben werden und sollten, wenn das der Fall war, nach jeder Spielrunde ersetzt werden. Das Eingabefeld könnte, wenn es laminiert ist und ein abwischbarer Folienstift verwendet wird, wiederverwendet werden. Farbreste an den Rändern der vier Teile könnten die Lösung des Rätsels vorschlagen und sollten deswegen nachproduziert werden.

6. Reflexion und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war die Konzeption und Umsetzung eines Lernspiels zum Thema der natürlichen Radioaktivität für die Sekundarstufe II. Dieses Spiel wurde im vierten und fünften Kapitel dieser Arbeit in vollem Umfang beschrieben. Ebenso wurde im zweiten Kapitel näher erläutert, was ein Spiel überhaupt ausmacht und in welchen Situationen das Spielen in der Schule angebracht ist. Im Zuge dessen sind Probleme aufgeführt worden, denen sich Lehrer:innen gegenüberstehen können, die im Unterricht spielen wollen. Der Einblick in das Konzept der Spieldidaktik verfolgt das Ziel einen Rahmen herzustellen, der den Einsatz von Spielen im Schulunterricht didaktisch wertvoll macht. Hier wurde die Rolle des Pädagogen herausgestellt und als Dreh- und Angelpunkt für das Gelingen einer Spielstunde etabliert. Die Lehrkraft muss eine beobachtende und äußerlich passive Rolle einnehmen, die aber innerlich eine große Anstrengung erfordert. Ein großes Problem für das Verwenden von Spielen im Unterricht ist die hohe Vorbereitungszeit, die das Erstellen eines solchen Spiels verlangt. Dieses Lernspiel kann von Lehrer:innen verwendet werden und erfordert nur eine Auseinandersetzung mit dem Spielkonzept und den Spielregeln. Nach dem Spielen kann außerdem beschädigtes Material ersetzt werden und das fünfte Kapitel legt genauer aus, welches Material besonders betroffen ist.

Von ionisierender Strahlung sind wir ständig umgeben. Dieses Spiel soll neben dem Sichern der inhaltlichen Kompetenzen ein tieferes Verständnis für Ursachen und Quellen der natürlichen Radioaktivität auslösen. Die Schüler:innen werden damit vertraut gemacht, dass uns Quellen ionisierender Strahlung umgeben und entwickeln eine kritische Denkweise diesen gegenüber.

Mein Spiel liefert einen Überblick über die Quellen natürlicher Radioaktivität. In Zukunft könnte das Spiel ergänzt werden durch Spiele, die sich mit den einzelnen Quellen natürlicher Radioaktivität genauer befassen. Beispielsweise könnten Radon und seine Folgeprodukte, als zweitgrößter Verursacher von Lungenkrebs, zum Mittelpunkt eines weiteren Exit-Spiels gemacht werden. Auch für andere Themen des Physikunterrichts können Spiele im Exit-Format entworfen werden. Damit steht den Lehrer:innen eine Sammlung an Spielen zur Verfügung, derer sie sich bedienen können, um Abwechslung in den Physikunterricht zu bringen. Mit fortschreitender Digitalisierung sind auch Exit-Spiele in digitaler Form denkbar und könnten eine Ergänzung zur Medienkompetenz der Schüler:innen darstellen.

Dieses Spiel stellt den dritten Eintrag in das Spielerepertoire des Instituts für Radioökologie und Strahlenschutz dar und folgt den Spielen von Dennis Raulin und Onno Rüter.

Literaturverzeichnis

- [1] Christian Rittelmeyer. *Spiel*. In: Enzyklopädie Erziehungswissenschaft Bd.1, Klett-Cotta Stuttgart 1983.
- [2] Hilbert Meyer. *Unterrichtsmethoden II Praxisband*. In: Cornelsen Verlag GmbH Berlin 2017.
- [3] Bibliographisches Institut GmbH. *Wörterbuch oder Synonyme*. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Spiel>, 20.02.2021.
- [4] Elke Calliess. *Spielendes Lernen*. In: Die Eingangsstufe des Primarbereichs Band 2/1 Spielen und Gestalten, Deutscher Bildungsrat Gutachten und Studien der Bildungskommission 48/1 Ernst Klett Verlag 1975.
- [5] Hans Scheuerl. *Das Spiel Untersuchungen über sein Wesen, seine pädagogischen Möglichkeiten und Grenzen*. In: Beltz Verlag Weinheim und Basel Beltz 1979.
- [6] Benita Daublebsky. *Spielsituationen*. In: Die Eingangsstufe des Primarbereichs Band 2/1 Spielen und Gestalten, Deutscher Bildungsrat Gutachten und Studien der Bildungskommission 48/1 Ernst Klett Verlag 1975.
- [7] Elke Calliess. *Spielen in der Schule – Motivationale Aspekte*. In: Spielen in der Schule Vorschläge und Begründungen für ein Spielcurriculum Ernst Klett Verlag Stuttgart 1974.
- [8] Wolfgang Einsiedler. *Das Spiel der Kinder: zur Pädagogik und Psychologie des Kinderspiels*. In: Verlag Julius Klinkhardt Bad Heilbrunn/ Obb. 1999.
- [9] Silke Mikelskis-Seifert, Thorid Rabe (Hrsg.). *Physik Methodik Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. In: Cornelsen Verlag Scriptor GmbH und Co. KG Berlin 2007.
- [10] Benita Daublebsky. *Spielen in der Schule Vorschläge und Begründungen für ein Spielcurriculum*. In: Ernst Klett Verlag Stuttgart 1974.
- [11] Ulrike Kipman. *Problemlösen Begriff - Strategien - Einflussgrößen - Unterricht - (häusliche) Förderung*. In: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH 2020.
- [12] Giorgia Cinelli, Marc De Cort, Tore Tollefsen (Eds.). *European Atlas of Natural Radiation*. In: Publication Office of the European Union Luxembourg 2019.
- [13] Agemar Siehl (Hrsg.). *Umweltradioaktivität*. In: Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH Berlin 1996.
- [14] Clemens Walther. *Kernphysikalische und Kernchemische Grundlagen (als Teil der Experimentalphysik IV)*. 2019/20.

- [15] Bundesamt für Strahlenschutz. *Ionisierende Strahlung Radioaktivität in der Umwelt*. https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/umwelt_node.html, 20.02.2021.
- [16] Hans-Gerrit Vogt, Jan Willem Vahlbruch. *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes*. In: Carl Hanser Verlag München 2019.
- [17] Rolf Michel. *Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln und ihre Bedeutung für die Strahlenexposition*. In: StrahlenschutzPRAXIS 7 Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie Universität Hannover 2001.
- [18] Inka und Markus Brand. *Exit – Das Spiel; Der Flug ins Ungewisse*. In: KOSMOS Verlag 2019.
- [19] Inka und Markus Brand und Marc-Uwe Kling. *Exit – Das Spiel; Die Känguru-Eskapaden*. In: KOSMOS Verlag 2019.
- [20] Inka und Markus Brand. *Exit – Das Spiel; Der Friedhof der Finsternis*. In: KOSMOS Verlag 2020.
- [21] Inka und Markus Brand. *Exit – Das Spiel; Die vergessene Insel*. In: KOSMOS Verlag 2017.
- [22] Dennis Raulin. *Entwicklung eines didaktischen Instruments zur Vermittlung dosimetrischer Begriffe im Strahlenschutz*. In: Bachelorarbeit Physik. Leibniz – Universität – Hannover. Hannover 2019.
- [23] Onno Maximilian Rüter. *Entwicklung eines didaktischen Instruments zur Festigung von Lerninhalten zu Radioaktivität in der Sekundarstufe II*. In: Bachelorarbeit Physik. Leibniz – Universität – Hannover. Hannover 2020.
- [24] Helmholtz Zentrum München. *IRM EPCARD*. <https://www.helmholtz-muenchen.de/epcard/index.html>, 06.03.2021.
- [25] Bundesamt für Strahlenschutz. *Messstellen in Deutschland*. <https://odlinfo.bfs.de/DE/themen/wo-stehen-die-sonden/messstellen-in-deutschland.html>, 07.03.2021.

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: KOMPETENZEN IM EXIT-SPIEL [11]	20
ABBILDUNG 2: NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION IN mSv (DIAGRAMM MIT DATEN DES BUNDESAMTS FÜR STRAHLENSCHUTZ HERGESTELLT) [15]	29
ABBILDUNG 3: POSTER	35
ABBILDUNG 4: GEFAHRENBERICHT SEITE 2.....	36
ABBILDUNG 5: GEFAHRENBERICHT SEITE 3.....	38
ABBILDUNG 6: GEFAHRENBERICHT SEITE 4.....	41
ABBILDUNG 7: GEFAHRENBERICHT SEITE 5.....	43

ABBILDUNG 8: GEFAHRENBERICHT SEITE 7.....	48
ABBILDUNG 9: GEFAHRENBERICHT SEITE 8.....	50
ABBILDUNG 10: GEFAHRENBERICHT SEITE 9.....	52
ABBILDUNG 11: TEIL DER HILFS-KARTE „AUFLÖSUNG“ DES 10. RÄTSELS	54

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: PUNKTEVERTEILUNG NACH BENÖTIGTER ZEIT UND ERHALTENER DOSIS	55
TABELLE 2: BEWERTUNGSTABELLE DER ERREICHTEN PUNKTZAHL.....	55
TABELLE 3: ZUORDNUNG DER LÖSUNGSOPTIONEN ZU DEN EINZELNEN RÄTSELN	56
TABELLE 4: MATERIAL ZUR NACHPRODUKTION.....	59

Anhang

Ausgeführte Informationen zum Radon

Radon ist ein Edelgas welches in Böden, Gesteinen und Gewässern vorkommt. Die Quelle für Radon sind die natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium, durch den α -Zerfall von Radium. Rn-222 hat eine Halbwertszeit von 3,8 Tage, Rn-220 (Thoron) hat eine Halbwertszeit von ca. 55 Sekunden und Rn-219 (Actinon) hat eine Halbwertszeit von ca. 3,9 Sekunden. Wenn im Folgenden von „Radon“ gesprochen wird ist damit das Rn-222-Isotop gemeint.

Durch die Eigenschaft der verschiedenen Radon-Isotope, gasförmig zu sein, ist die Migration im Erdboden vereinfacht. Die kurzen Halbwertszeiten von Thoron und Actinon haben zur Folge, dass sie auf dem Migrationsprozess an die Erdoberfläche zu einem großen Teil zerfallen. Die längere Halbwertszeit des Radons ermöglicht, dass ein größerer Teil die Erdoberfläche erreicht.

Radon durchläuft auf dem Weg durch den Erdboden an die Erdoberfläche verschiedene Prozesse. Es entsteht durch den α -Zerfall von Radium und die Emanation setzt die Radon-Atome aus der festen Phase in den Porenraum des Bodens oder Gesteins frei. Die Emanation wird wesentlich durch die Bindungsform der Mutternuklide und die Größe der inneren Oberfläche als Funktion der Korngrößenverteilung bestimmt. Die Emanation der Kerne findet durch Diffusions- und Rückstoßprozesse beim α -Zerfall statt. [13]

Die Radon-Kerne bewegen sich während der Migrationsphase diffusiv und/oder advektiv durch die Porenräume der Gesteine und Böden. Eigenschaften wie geomechanische und hydrologische Verhältnisse im Untergrund haben Einfluss auf die Migration. Die Migrationsweite ist abhängig von der Halbwertszeit von Radon und den effektiven Radon-Diffusionskoeffizienten in den Porenfluiden. Die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers und die Bodenluft sind Faktoren, die auch auf die Migrationsweite einwirken. Beim advektiven Transport wird Radon durch Trägermedien wie z.B. dem Grundwasser oder Bodengasen, passiv an die Oberfläche geleitet. Durch Exhalation gelangt das Radon an die Atmosphäre und wird durch die Teilnahme an vertikalen und horizontalen Luftbewegungen an Aerosole gebunden.

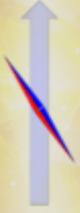
Die Radon-Aktivitätskonzentration in der Bodenluft in der Nähe der Oberfläche und die Radon-Exhalation hängen von verschiedenen Parametern ab. Dazu gehören die Bodentemperatur und -feuchtigkeit, Luftdruck und -temperatur, Permeabilität, Niederschlag, Schneebedeckung und der Temperaturgradient zwischen Boden und Atmosphäre.

Zur Messung von Radon und dessen Folgeprodukten können, je nach Situation, verschiedene Messgeräte verwendet werden. Einige Beispiele sind Szintillationszähler, Ionisationskammern und Festkörperspurdetektoren.

Die Radon-Aktivitätskonzentration in Gestein, Böden und Außenluft kann zwischen einigen $\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ und wenigen $\frac{\text{MBq}}{\text{m}^3}$ variieren. An der Außenluft überschreitet die Konzentration selten die $50 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$, während in der Bodenluft Konzentration vorzufinden sind, die um den Faktor 1.000 bis 100.000 höher sind. Das im Boden befindliche Radon kann in Gebäude gelangen und dort Raumluftkonzentrationen von einigen hundert bis tausend $\frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ bewirken. Gesteine und Böden sind aufgrund ihres Anteils an Uran und Thorium Quellen für Radon und so kann Radon auch aus den Baumaterialien in Wohnräume gelangen. Die Hauptquelle für Radon in Innenräumen ist allerdings der Untergrund. Durch Risse und Öffnungen im Fundament, z.B. durch die Verbindungswege von Rohren, gelangt Radon in Kellergeschosse und von dort über die Treppenhäuser in Innenräume. Der Weg durch den Erdboden und in die Häuser ist allerdings ein langsamer Prozess, wodurch Thoron anteilmäßig sehr selten vorkommt. Durch das Binden des Radons an Aerosole, die sich auf Oberflächen und in der Luft finden lassen, erhöht sich die Radonkonzentration in der Luft. Werden die Aerosole eingeatmet, können Radon, durch α -Zerfall und seine Folgeprodukte, Polonium-, Blei- und Bismuth-Isotope, Schaden im Lungengewebe anrichten. Atmet man Radon und seine Folgeprodukte über einen längeren Zeitpunkt ein, so steigt das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken. Nach dem Rauchen ist das Einatmen von Radon die größte Ursache für Lungenkrebs.

Im Freien vermischt sich Radon mit der Umgebungsluft, wodurch die Radonkonzentration gering ist. Innerhalb von Wohnräumen kann durch regelmäßiges Lüften die Konzentration von Radon gesenkt werden. In Kellerräumen, die wenig bis gar nicht gelüftet werden, können spezielle Lüftungssysteme und das Abdichten von möglichen Eintrittsorten zur Reduzierung der Radonkonzentration führen. [12, 13, 15]

Spielkarten Rätselkarten

<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>A</p>	<p>Kalium-39 ist vorkommendes einer Halbwertszeit Jahren Isotop den Kalium-40 0,0117% Kalium hat Aktivität Becquerel Kalium, ist meisten terrestrischen und größten effektiven Ingestion. Körper damit funktionieren reguliert im die der abgedeckt</p> 	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>B</p>	<p>Ihr habt die Rätselkarte G gefunden und schlagt die Seite 3 im Gefahrenbericht auf.</p> <p>Mit dem Lösen dieses Rätsels, sollte es Euch gelingen, den Wandtresor zu öffnen. Die Stecknadel aus der Schublade hilft Euch vielleicht.</p> <p>Ein kleiner Tipp noch. Die Bilder im Gefahrenbericht geben einen Hinweis auf das Multiple-Choice Rätsel.</p> 
<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>C</p>	<p>Dieses Rätsel besteht nur aus einem Logikrätsel. Die Karten D und J helfen Euch hier weiter. Schnelligkeit ist angesagt, denn das Anschalten der Lüftungsanlage hat länger gedauert als gedacht.</p> <p>Einen Tipp gebe ich Euch mit. Der Schlüssel zu diesem Rätsel liegt in der Farbe.</p> 	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>D</p>	<p>21</p> <p>11</p> <p>05</p> 
<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>E</p>	<p>Kalium-40 Kalium ein Radionuklid, extrem von zählt K-40 primordialen kommt in vor eine von pro Natürliches in biologischen Stoffen liefert Beitrag Dosis. Der benötigt der kann den Körper. Ernährung Kaliumbedarf werden</p> 	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>F</p>	<p>Mit $1200 \frac{Bq}{m^3}$ ist die Radonkonzentration in diesem Raum leicht erhöht. Bei dem Bau des Flughafens wurde aber vorgesorgt und eine Radonlüftung eingebaut. Sie scheint allerdings ausgeschaltet zu sein. Im Gefahrenbericht auf Seite 5 müsste eine Anleitung zum Anschalten der Lüftungsanlage sein. Doch Ihr müsst euch beeilen, denn Euer Flug geht bald!</p> 
<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>G</p>	 	<p>RÄTSEL-KARTE</p>  <p>H</p>	 

RÄTSEL-KARTE



I

Protonen 20

15 km 20

H-3 20

Photonen und Elektronen 20

Heliumkerne 20

Myonen 20



RÄTSEL-KARTE



J

23

76

43



RÄTSEL-KARTE



K

In Eurem Besitz befinden sich bereits die Rätselkarten H, N und W. Zum Öffnen der Tür braucht Ihr dann nur noch Seite 4 aus dem Gefahrenbericht.



RÄTSEL-KARTE



L

Apfel (G)

Salat (N)

Plastik (S)

Computer (M)

Licht (I)



RÄTSEL-KARTE



M

Ihr findet die Treppe in den Keller. Auf einer der Treppenstufen findet Ihr die Rätselkarte W. Im Keller angekommen, fällt Euch direkt eine Tür ins Auge auf der das Strahlenwarnzeichen und die Aufschrift „Achtung!“ prangt. Neben der Tür ist ein kleines Fach angebracht, in dem Ihr eine Karlsruher Nuklidkarte und die Rätselkarte K findet.



RÄTSEL-KARTE



N




RÄTSEL-KARTE



O

Ihr hört über die Sprechanlage den Kapitän: „Sehr verehrte Damen und Herren, auf dieser Flughöhe haben wir eine Menge Turbulenzen. Wir versuchen, diese zu überfliegen.“ Nach einigen Minuten erreicht Ihr die neue Flughöhe und die Anschallzeichen verschwinden. Ihr vernehmt auf einmal ein Piepen aus einem der Fächer des Fluggersonals. Auf dem Fach ist das Strahlenwarnzeichen abgebildet. Blättert auf die Seite 8 des Gefahrenberichts.



RÄTSEL-KARTE



P

>>



RÄTSEL-KARTE



Q

S N



RÄTSEL-KARTE



R

Kosmische Strahlung ^{sr}

Stickstoff ^{sr}

10 km ^{sr}

Atmosphäre ^{sr}

Sauerstoff ^{sr}

C-14 ^{sr}

Nukleonen ^{sr}



RÄTSEL-KARTE



S

Blättert im Gefahrenbericht auf die zweite Seite.



RÄTSEL-KARTE



T

„Die Rätselkarte Q gibt Euch einen Hinweis für das nächste Rätsel. Der Strahlenschutzbeauftragte hat mir außerdem erzählt, Ihr hättet den Gefahrenbericht mitgenommen. Seite 6 sollte Euch beim Lösen der Rätsel helfen.“, fügt Herr Klaus hinzu.



RÄTSEL-KARTE



U

Kalium-41
Vierzig natürlich Mit langen $1,248 \cdot 10^8$ das zu radionuklidenn. mit natürlichem und spezifische 31,6 Gramm Kalium den und vorhanden den zur durch menschliche Kalium, Stoffwechsel und Kaliumgehalt Über kann vollständig



RÄTSEL-KARTE



V

Milch (R)

Wand (L)

Fleisch (O)

Kopf (K)

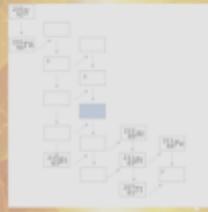
Buch (H)



RÄTSEL-KARTE



W



RÄTSEL-KARTE



X

Ast (T)
 Baum (E)
 Nüsse (A)
 Haus (A)
 Bank (U)



RÄTSEL-KARTE



Y

Der Rest des Fluges verläuft ereignislos und bei der Landung erwartet Euch bereits der Strahlenschutzbeauftragte des Flughafens in Hannover. Er übergibt Euch das letzte Teil der Schließfachkombination und führt Euch an den Gepäckbändern vorbei, zu einem, mit dem Strahlwarnzeichen markierten Schließfach. Dort liegt ein Eingabefeld bereit. Die 4 Teile der Kombination, sowie das Eingabefeld, sollten Euch helfen, dieses zu öffnen.



RÄTSEL-KARTE



Z

Die Rätselkarten I, R und die Seite 9 aus dem Gefahrenbericht helfen Euch, das zweite Schloss zu öffnen. Dann sollte es auch möglich sein den Piepton endlich auszustellen!



Multiple-Choice-Fragen-Karten

MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE



Terrestrische Radionuklide

Kreuz das zutreffende an!

- Uran-235 ist das am häufigsten vorkommende Uran.
 2336 1432
- Kalium-40 ist kein Bestandteil der natürlichen Zerfallskette.
 4982 5632
- Die Zerfallskette von Uran-235, Uran-238, Thorium-232, sowie das Kalium-40 Isotop sind die Hauptverursacher der terrestrischen Strahlung.
 2512 3478
- Terrestrische Radionuklide sind bei der Betrachtung der Strahlenbelastung der Bevölkerung zu vernachlässigen.
 7241 6825

MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE



Terrestrische Strahlung

Welche der nachfolgenden Aussagen treffen zu?

- 3408 Terrestrische Strahlung wird hauptsächlich über die Detektion von Gamma-Strahlen gemessen.
- 12073 Gamma-Strahlen sind elektromagnetische Strahlung mit Wellenlängen im Bereich von $< 10^{-12}$ m.
- 15609 90% der gemessenen Gamma-Strahlung an der Erdoberfläche geht von Quellen in mehreren Metern Tiefe aus.
- 24958 Messgeräte an der Erdoberfläche registrieren nur terrestrische Strahlung.
- 5289 Regen- und Schneefall beeinflussen an der Erdoberfläche aufgenommene Messwerte.



MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE



Radon, Thoron und Actinon

Welche Aussagen sind falsch?
 (Wenn im Folgenden von „Radon“ gesprochen wird, ist Ra-222 gemeint.)

- 92 Actinon hat mit 3,96 Sekunden die längste Halbwertszeit.
- 52 Radon ist ein Edelgas.
- 37 Radon entsteht aus natürlichem Uran in Böden und Gesteinen und kann sich in Innenräumen ansammeln.
- 64 Das Eindringen in Gebäude ist ein langsamer Prozess, vorwiegend Actinon und Thoron in höherem Maße als Radon vorliegend.
- 44 In Baumaterial aus natürlichem Gestein ist ein natürlicher Anteil an Uran, und somit auch Radon, vorhanden.
- 43 Radon wie im Metall im Freien in höherer Konzentration als in Innenräumen auf.
- 15 Radon kommt regional in gleicher Konzentration im Boden vor.
- 8 Die jährliche effektive Dosis verursacht durch Inhalation von Radon, setzt sich zusammen aus 1,0 mSv in Räumen und ca. 0,1 mSv im Freien.

MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE



Radon in Innenräumen

Welche der Aussagen sind korrekt?

- 87 Radon-Folgeprodukte lagern sich an Aerosole an.
- 54 Die Zerfallsprodukte von Radon richten Schäden im Lungengewebe an.
- 74 Das Lüftungsverhalten hat keinen Einfluss auf die Radonkonzentration in Innenräumen.
- 85 Werden Radon und seine radioaktiven Folgeprodukte eingeatmet, steigt das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken.



<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Ingestion</p>	<p>Welche Aussagen sind richtig?</p> <p>RA Lebensmittel enthalten keine natürlichen Radionuklide.</p> <p>F Zerfallsprodukte der Ur- und Radium-Reihe lassen sich in pflanzlichen und tierischen Nahrungsmitteln finden.</p> <p>UM Nahrungsmittel tragen zur Ingestiondosis deutlich mehr bei als das Trinken von Wasser und Mineralwasser.</p> <p>ON Kalium liefert den kleinsten Beitrag zu der Strahlenbelastung durch Ingestion.</p> <p>TO Kosmogene Radionuklide, wie Tritium, Be-7 und C-14 tragen geringfügig zur verschluckten Dosis bei.</p> <p>HA Für eine gesunde Ernährung sollte Kalium auf jeden Fall gemieden werden.</p> <p>NI Polonium-210, Bismut-210, Radium-226 und Radium-228 sind Radionuklide aus natürlichen Zerfallsreihen, die stark zur Exposition durch Ingestion beitragen.</p> <p>LU Der Verzehr von 2 Porzellan- oder Teller-Teilen die Ingestiondosis durch natürliche Radionuklide um bis zu 160 µSv/a erhöhen.</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Kalium-40</p>	<p>Entscheiden Sie ob die Aussagen zutreffend sind oder nicht!</p> <ul style="list-style-type: none"> Die von Kalium verursachte Exposition beim Verzehren von Nahrung lässt sich nicht verhindern. <input checked="" type="checkbox"/> N <input checked="" type="checkbox"/> P Die im Jahr, durch Kalium-40 verursachte, durchschnittliche effektive Dosis für Erwachsene liegt bei ca. 0,18 mSv. <input checked="" type="checkbox"/> N <input checked="" type="checkbox"/> L Ungefähr die Hälfte unserer Eigenaktivität stammt vom Kalium-40. <input checked="" type="checkbox"/> O <input checked="" type="checkbox"/> A Die Strahlenbelastung durch Ingestion ist um den Faktor 10 höher als die durch Inhalation und externer Bestrahlung. <input checked="" type="checkbox"/> M <input checked="" type="checkbox"/> E
<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Kosmische Primärstrahlung</p>	<p>Welche dieser Behauptungen treffen zu?</p> <p>13 Protonen und Heliumkerne sind die dominanter Teilchenarten der Primärstrahlung.</p> <p>17 Die Galaktische Strahlung wird nicht durch das Erdmagnetfeld abgeschwächt.</p> <p>29 Ein Sonnenfleckenzyklus beträgt 11 Jahre.</p> <p>7 An den Polen ist die Strahlenbelastung durch kosmische Strahlung geringer als am Äquator.</p> <p>23 Ein Teil der kosmischen Strahlung wird von Sonnenwind abgelenkt.</p> <p>14 Protonen, Elektronen und Kerne bis Eisen sind Teil der Galaktischen Strahlung.</p> <p>19 Die Dosisleistung durch kosmische Strahlung auf 10 km Höhe beträgt etwaige µSv/h.</p>	<p>MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN-KARTE</p>  <p>Höhenstrahlung und Fliegen</p>	<p>Kreuz das Richtige an.</p> <ul style="list-style-type: none"> Mit zunehmender Flughöhe steigt auch die auf den Menschen wirkende kosmische Strahlung. <input checked="" type="checkbox"/> GA <input checked="" type="checkbox"/> EN Teilchen der kosmischen Strahlung stellen aus Kernen der Sauerstoff- und Stickstoffkerne in der Atmosphäre. <input checked="" type="checkbox"/> LI <input checked="" type="checkbox"/> CK Auf Flügen gleicher Länge können abhängig von der Höhe zum Äquator unterschiedliche Dosen verkommen. <input checked="" type="checkbox"/> DO <input checked="" type="checkbox"/> NI Die durch Fliegen erhaltene, jährliche effektive Dosis macht den größten Anteil der natürlichen Strahlenbelastung aus. <input checked="" type="checkbox"/> ZI <input checked="" type="checkbox"/> UM Die durchschnittliche effektive Dosis durch kosmische Strahlung am Erdboden beträgt ca. 340 µSv/a. <input checked="" type="checkbox"/> NI <input checked="" type="checkbox"/> M

Hilfe-Karten

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p>	<p>Die Fragen beziehen sich auf natürlich vorkommende Nuklide.</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp </p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>Primordiale Nuklide existieren seit der Entstehung der Erde aufgrund ihrer sehr langen Halbwertszeit.</p>
<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp </p>	<p>Bei drei der Fragen geht es um primordiale Nuklide. Eine Frage bezieht sich auf den Fundort dieser Nuklide. Eine Frage bezieht sich auf die Zeit, bei der von einem Isotop nur noch die Hälfte übrig ist.</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung </p> <p>Multiple-Choice</p>	<p>Die richtigen Antwortmöglichkeiten sind 1432, 4982 und 6825.</p>

HILFE-KARTE

Auflösung

1. Radionuklide
2. kosmogenen
3. Halbwertszeit
4. primordial
5. Zerfallsreihe
6. Thorium
7. Uran
8. Kalium
9. terrestrisch
10. Erdkruste

Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte „Terrestrische Radionuklide“ aufmerksam geworden sein.

HILFE-KARTE

1. Tipp

Auf der Seite 3 im Gefahrenbericht ist eine große Kompassnadel abgebildet. Auch auf der Rätselkarte G ist eine Kompassnadel. Wozu die wohl gut sind?

Die Bilder geben einen Hinweis auf das Multiple-Choice-Rätsel.

HILFE-KARTE

1. Tipp
Multiple-Choice

Terrestrische Strahlung wird üblicherweise als Gamma-Strahlung gemessen.

HILFE-KARTE

2. Tipp

Wird die Kompassnadel der Rätselkarte deckungsgleich mit den Farben über die Kompassnadeln im Gefahrenbericht gelegt, kommt Ihr auf zwei Bilder. Was haben diese Bilder gemeinsam? Und was könnten die Buchstaben an den Kompassnadeln bedeuten?

HILFE-KARTE

Auflösung
Multiple-Choice

Die richtigen Antwortmöglichkeiten sind versehen mit den Zahlen 3498, 12973 und 5289.

HILFE-KARTE

Auflösung

Richtet man den Pfeil mit der Kompassnadel immer so aus, dass die Kompassnadeln in dieselbe Richtung zeigen, kommt man auf das Bild mit dem Uraninit und das Bild auf dem ein Berg abgebildet ist. Die Bilder sollen auf die Multiple-Choice-Karte „Terrestrische Strahlung“ aufmerksam machen. Die Buchstaben ergeben das Wort „SCHLEMA“.

HILFE-KARTE

1. Tipp

Auf der Seite 4 im Gefahrenbericht sind verschiedene Isotope. Auf den Rätselkarten H, N und W scheint es freie Felder zu geben.

HILFE-KARTE

1. Tipp
Multiple-Choice

Von den drei Isotopen ist Radon (Rn-222) am häufigsten in der Natur vertreten.

Wie verhalten sich Gase in geschlossenen Räumen?

HILFE-KARTE



2. Tipp 

Auf den Rätselkarten sind die Zerfallsreihen von Uran-238, Uran-235 und Thorium-232 abgebildet. Die farbigen Kästchen weisen auf die Multiple-Choice-Karte hin.

HILFE-KARTE



Auflösung 
Multiple-Choice

Die falschen Antwortmöglichkeiten sind die 1, 4, 6 und 7.

HILFE-KARTE



Auflösung 
Multiple-Choice

Tragt Ihr die verschiedenen Nuklide an den richtigen Platz in den Rätselkarten ein, erhaltet Ihr das Wort Polonium. Die farbig markierten Kästchen stehen für Rn-219, Rn-220 und Rn-222. Diese werden auch Actinon, Thoron und Radon genannt. Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte „Radon, Thoron und Actinon“ aufmerksam geworden sein.

HILFE-KARTE



1. Tipp 

Die Rätselkarte P liefert einen Ansatz, die Anleitung besser zu verstehen.

HILFE-KARTE



1. Tipp 
Multiple-Choice

Radon vermischt sich mit der Umgebungsluft.

HILFE-KARTE



2. Tipp 

Außer Buchstaben und den „>>“ sind auch noch Pfeile in der Anleitung. Was wohl passiert, wenn man diesen folgt?

HILFE-KARTE



Auflösung 
Multiple-Choice

Die richtigen Antwortmöglichkeiten sind 87, 54 und 85.

HILFE-KARTE



Auflösung 
Multiple-Choice

Das Symbol „>>“ zeigt, wo Ihr mit dem Lesen beginnen müsst. Folgt Ihr der Leserichtung, so ergeben sich Wörter und Sätze. Sobald ein Pfeil kommt und der angezeigten Richtung gefolgt wird, ergibt sich der Rest des Textes.

HILFE-KARTE



1. Tipp

Die Farben können in eine bestimmte Reihenfolge gebracht werden. Das sollte auch Klarheit in den Zahlensalat bringen.

HILFE-KARTE



2. Tipp

Die Farben scheinen was mit dem Farbspektrum zu tun zu haben.
Welche Zahlen könnten mit einer 0 beginnen? Diese Frage zu beantworten, könnte des Rätsels Lösung einen Schritt näherbringen.

HILFE-KARTE



Auflösung

Die Farben stellen das Farbspektrum dar und können in der Reihenfolge Violett, Blau, Grün, Gelb, Orange, Rot sortiert werden.
Dadurch ergibt sich die Telefonnummer 0511 762 14323.

HILFE-KARTE



1. Tipp 

Die Rätselkarte Q laut vorzulesen, könnte Euch helfen, der Lösung des Rätsels näher zu kommen.

HILFE-KARTE



1. Tipp 
Multiple-Choice

Die primordialen Nuklide Uran-235, Uran-238 und Thorium-232, sowie ihre Zerfallsprodukte lassen sich überall im Erdboden wiederfinden. Gleiches gilt für das primordiale Kalium-40.

HILFE-KARTE



2. Tipp 

Einige der Begriffe auf den Rätselkarten X, L und V haben etwas mit der Rätselkarte Q gemein. Ob das Zufall ist?

HILFE-KARTE



Auflösung 
Multiple-Choice

Die richtigen Aussagen sind P, UM, TO, NI und LU. Es ergibt sich das Wort PLUTONIUM.

HILFE-KARTE



Auflösung 

„SN“ laut ausgesprochen klingt wie Essen. Auf den Rätselkarten X, L und V sind Begriffe zu finden, die essbar sind.
Die richtigen Objekte sind Nüsse, Apfel, Salat Milch und Fleisch. Das erste Element ist Argon mit der Ordnungszahl 18.
Ihr solltet auf die Multiple-Choice-Karte „Ingestion“ aufmerksam geworden sein.

HILFE-KARTE



1. Tipp 

Die drei Rätselkarten A, E und U und die Seite 7 im Gefahrenbericht haben etwas mit natürlichem Kalium zu tun.

HILFE-KARTE



1. Tipp 

Die durchschnittliche jährliche effektive Dosis durch Ingestion beträgt 320 μ Sv.

HILFE-KARTE



2. Tipp 

Sortiert die Texte in aufsteigender Reihenfolge abhängig von ihrem Anteil an natürlichem Kalium und Ihr erhaltet den vollständigen Text.
Es scheinen ein paar Buchstaben zu viel im Text zu sein.

HILFE-KARTE



Auflösung 

Die richtigen Lösungen sind richtig, richtig, richtig und falsch.

HILFE-KARTE



Auflösung 

Die Reihenfolge in der die drei Texte gelesen werden müssen lautet: Kalium-40, Kalium-41 und Kalium-39
Wird von jeder Karte immer ein Wort genommen, ergibt sich der Text.
Die überflüssigen Buchstaben ergeben das Element Osmium.

HILFE-KARTE



1. Tipp 

Die drei Bilder stellen das Erdmagnetfeld, den Sonnenfleckenzyklus und Teilchen der Primärstrahlung beim Eintritt in die Atmosphäre dar.

HILFE-KARTE



1. Tipp 

Die kosmische Primärstrahlung setzt sich aus Protonen, alpha-Teilchen und schweren Kernen bis $Z = 26$ zusammen.

HILFE-KARTE



2. Tipp 

Die drei Bilder haben eine Gemeinsamkeit. Wenn Ihr diese findet, ist die Lösung zum Greifen nahe.

HILFE-KARTE



Auflösung 
Multiple-Choice

Die richtigen Aussagen sind 13, 29, 23, 14 und 19.

HILFE-KARTE



Auflösung 

Das Erdmagnetfeld und der Sonnenfleckenzyklus haben Einfluss auf die kosmische Primärstrahlung, die die Erde erreicht. Das 5. Bild soll Primärteilchen beim Eintritt in die Atmosphäre darstellen. Zusammen soll auf die „Kosmische Primärstrahlung“ hingewiesen werden. Diese ist auch die nächste Multiple-Choice-Karte.

HILFE-KARTE



1. Tipp 

Was könnten die Zahlen in den Lücken bedeuten?

HILFE-KARTE



1. Tipp 
Multiple-Choice

Die Atmosphäre wirkt wie ein Schild und schirmt die Erde vor der kosmischen Strahlung ab.

HILFE-KARTE



2. Tipp 

Die abgebildete Grafik stellt den Eintritt der Galaktischen Strahlung in die Atmosphäre dar.

Wofür wohl die zwei leeren Felder neben dem Flugzeug stehen könnten?

HILFE-KARTE



Auflösung 
Multiple-Choice

Die richtigen Antworten sind GA, LI, DO, UM und NI. Es ergibt sich das Element Gadolinium.

<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung ↓</p>	<p>Von oben nach unten und von links nach rechts: Kosmische Strahlung, Protonen, Heliumkerne, Atmosphäre, Sauerstoff, Stickstoff, C-14, H-3, Nukleonen, Myonen, Photonen und Elektronen</p> <p>Felder neben dem Flugzeug: 15 km, 10 km. Es ergibt sich das Element Magnesium.</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>1. Tipp ⚡</p>	<p>Die vier Teile der Kombination und das Eingabefeld haben alle dieselbe Größe. Ihr solltet sie vielleicht übereinanderlegen.</p> <p>Die Buchstaben geben an wo oben und unten ist.</p>
<p>HILFE-KARTE</p>  <p>2. Tipp ⚡</p>	<p>Zeichnet die Konturen der 4 Kombinationen nacheinander auf dem Eingabefeld ab.</p> <p>Die Lösung ist ein Nuklid.</p>	<p>HILFE-KARTE</p>  <p>Auflösung ⚡</p>	<p>Es ergibt sich TH 232 als Lösung.</p> 

**Lösungskarten
Lösungskarten richtig**

<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>28025</p>	<p>Ihr habt den Code geknackt und die Schublade springt auf! In ihr findet Ihr eine Stecknadel, sowie die Rätselkarten B, H und G.</p> 	<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>30061</p>	<p>Ihr hört ein Klicken aus dem Inneren des Tresors, als die Zahlen alle an den richtigen Ort springen und die Tür langsam aufschwingt. Im Tresor findet Ihr die Rätselkarte N und T sowie einen Brief und ein seltsam aussehendes Teil.</p> 
<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>1636 μs</p>	<p>Die Anzeige des Sicherheitschlosses leuchtet grün auf und Ihr betretet den Kellerraum. Ihr seht Euch genauer um und entdeckt auf einem Tisch ein Messgerät mit digitaler Anzeige. Auf ihr ist der Wert $1200 \frac{\text{Bq}}{\text{m}^3}$ abzulesen. Daneben liegen die Rätselkarten P, F und J.</p> 	<p>LÖSUNGSKARTE</p>  <p>1600 a</p>	<p>Die Radonlüftung geht an und langsam sinkt die Zahl auf der Anzeige des Messgeräts. Beim Anschalten der Lüftung habt Ihr drei weitere Rätselkarten C, U und D gefunden. Die bereits gefundene Rätselkarte J und die Karten C und D scheinen zusammen zu gehören.</p> 

LÖSUNG-S-KARTE



Rn-222

Nach dem Telefongespräch macht Ihr euch über die Abkürzung auf den Weg zum Terminal. Herr Klaus hält Euch an, Euch besser zu beeilen. Ihr setzt Euch im Flugzeug auf Eure Plätze. „Der Strahlenschutzbeauftragte hat mir erzählt, was passiert ist und mir einen Teil der Kombination gegeben. Zum Vertreiben der Zeit, habe ich ein paar Rätsel mitgebracht.“ Ihr erhaltet von Herrn Klaus die Rätselkarten Q, R, X, L und V. „Die Kombination kriegt Ihr von mir, falls Ihr es schafft die Rätsel zu lösen.“

LÖSUNG-S-KARTE



Copernicium

„Mensch, das Rätsel hat Euch aber echt nicht lange aufgehalten, was? Aber keine Sorge, ich habe Euch noch ein weiteres Rätsel mitgebracht.“ Ihr erhaltet die Rätselkarten A und E. „Die 7. Seite im Gefahrenbericht könnte sich als hilfreich erweisen.“, teilt Herr Klaus Euch mit.

LÖSUNG-S-KARTE



Radon

„Ihr habt meine Rätsel gelöst! Ich bin beeindruckt. Dafür bekommt Ihr den dritten Teil der Kombination. Den letzten übergibt Euch der Strahlenschutzbeauftragte bei der sicheren Landung in Hannover.“, sagt Herr Klaus und übergibt Euch den dritten Teil der Kombination. In dem Moment wird das Flugzeug kräftig durchgeschüttelt, die Anschallzeichen erscheinen und aus der Gepäckablage fallen die Rätselkarten I und O.

LÖSUNG-S-KARTE



Californium

Das erste Schloss springt auf! Der Piepton hat aber immer noch nicht aufgehört und langsam macht Ihr Euch Sorgen, was das wohl bedeutet. Für das nächste Rätsel braucht Ihr noch Seite 9 im Gefahrenbericht. Beim Umblättern fällt die Rätselkarte Z aus dem Notizbuch.

LÖSUNG-S-KARTE



Osmium

Das zweite Schloss geht auf und Ihr könnt das Dosimeter aus dem Fach nehmen. Ihr lest die Anzeige ab: $7 \frac{\mu Sv}{h}$. Herr Klaus, der das Piepen mitbekommen hat und sehen wollte was der ganze Wirbel soll, meldet sich zu Wort: „Was Ihr da habt ist ein Dosimeter. Es scheint wohl so eingestellt zu sein, dass das Überschreiten einer bestimmten Dosisleistung einen Alarm auslöst. Wahrscheinlich kommt der Anstieg durch die zusätzliche Flughöhe. Das ist jedoch kein Wert über den wir uns sorgen müssten.“ Ihr begeben euch wieder an Eure Plätze und findet dort die Rätselkarte Y.

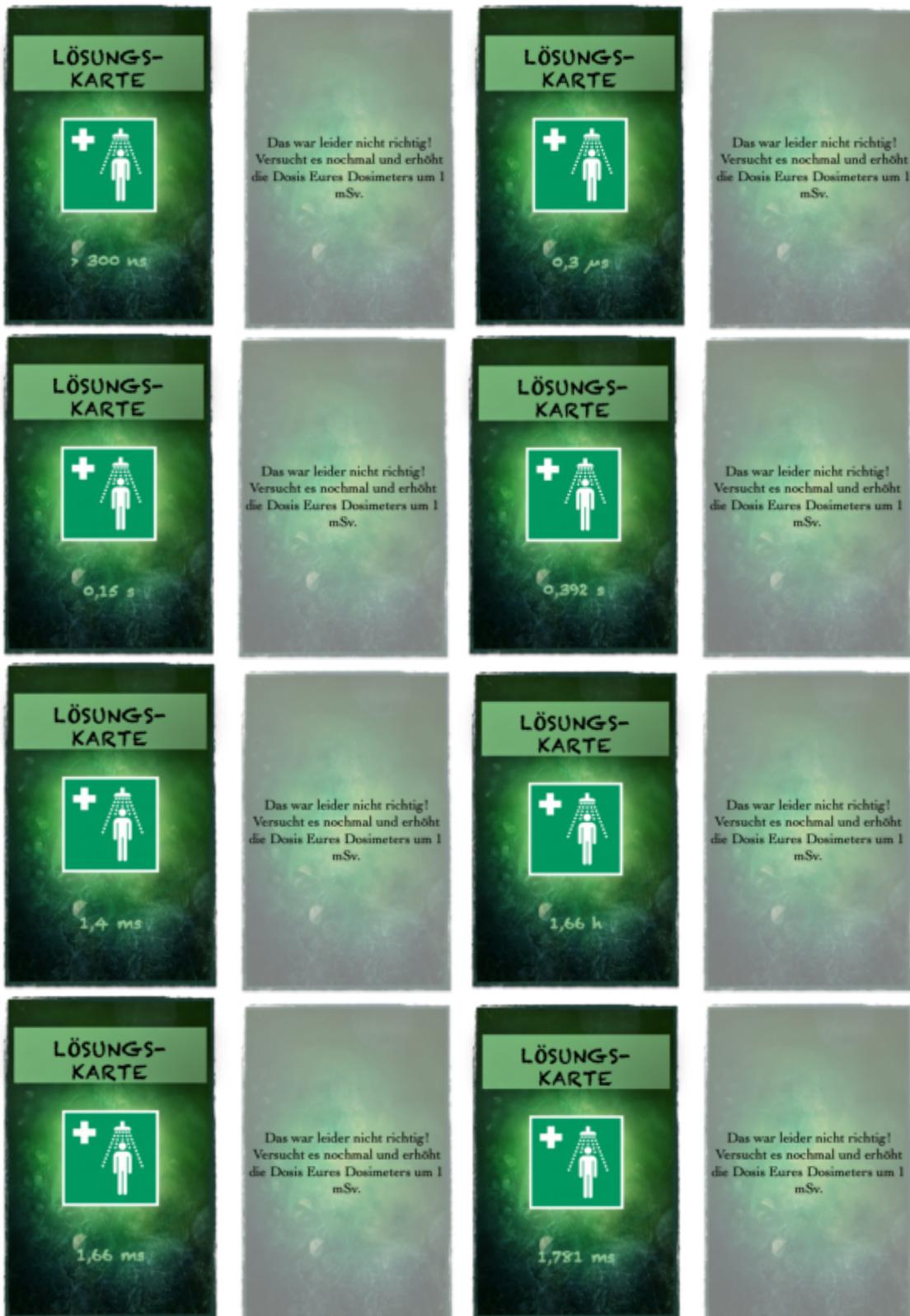
LÖSUNG-S-KARTE



Th-232

Ihr habt es geschafft! Das Schließfach geht auf und Ihr könnt endlich wieder Euer Gepäck an Euch nehmen. Mit dem Gepäck verlasst Ihr die Sicherheitszone des Flughafens, wo Eure Familien bereits auf Euch warten. Ihr verabschiedet Euch voneinander und geht zu den Wartenden, um ihnen von Eurem kleinen Abenteuer zu erzählen. Wertet nun Euer Dosimeter und die Stoppuhr aus, um herauszufinden, wie gut Ihr Euch geschlagen habt.

Lösungskarten falsch



LÖSUNGSKARTE



2,73 m

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



2,898 a

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



3,5 ms

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



3,63 h

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



3,098 m

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



4,64 s

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



5,8 h

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



5,47 m

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



5,60 s

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



11,6 m

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



15,6 m

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



22 ms

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



36,7 m

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



44,6 m

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



53,6 s

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



138,376 d

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



275 μ S

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



399 mS

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



516 mS

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



550 s

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



13368

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



15159

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



17088

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



18657

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



22843

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



25686

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



25939

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



26101

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



26201

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



26341

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



26355

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



26563

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



26689

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



26617

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



26851

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



27005

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



27105

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



27267

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



27621

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



27755

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



28132

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



28171

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



31630

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



34805

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



36734

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



38303

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



38526

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



40094

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



42023

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



43592

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



46209

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



47778

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



49707

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



51276

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



51498

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



53067

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



66566

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Actinium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Americium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Arsen

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Astat

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Barium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Blei

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Cadmium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Caesium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Calcium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Chrom

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Cobalt

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Curium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Dubnium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Dysprosium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Einsteinium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Eisen

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Gallium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Germanium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Gold

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Hassium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Indium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Iod

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Krypton

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Lawrencium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Lutetium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Meitnerium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Mendelevium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Molybdän

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Moscovium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Neodym

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Neptunium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Nobelium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Palladium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Promethium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Protactinium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Quecksilber

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Rubidium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Ruthenium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Samarium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Scandium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Selen

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Silber

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Strontium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Technetium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Tellur

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Terbium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Thorium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Thulium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Praseodym

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Uran

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Wolfram

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Xenon

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Ytterbium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Yttrium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Zink

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Zinn

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

LÖSUNGSKARTE



Zirkonium

Das war leider nicht richtig!
Versucht es nochmal und erhöht
die Dosis Eures Dosimeters um 1
mSv.

Gefahrenbericht

Ich bin der Strahlenschutzbeauftragte des Flughafens. Ich habe mir Eure Koffer genauer angeschaut und der bei der Gepäckkontrolle erweckte Verdacht, es könne sich um radioaktive Gegenstände handeln, hat sich als wahr erwiesen. Bei den mitgeführten Steinen handelt es sich in der Tat um Pechblende. Ich Sorge dafür, dass Euer Gepäck sicher verpackt wird. Die Koffer werden auf Eurem Flug mitgeschickt allerdings dürft ihr sie nicht als Handgepäck mitnehmen, da von ihnen eine große Strahlenbelastung ausgeht. Stattdessen werden sie im Gepäckraum des Flugzeuges sicher transportiert. Im Flughafen Hannover werden sie dann in einem speziellen Schließfach zu eurer Abholung bereit sein. Ihr werdet eine Schließkombination dazu brauchen. Ich habe den ersten Teil der Kombination in meinem Wandtresor aufbewahrt. Den Code für den Tresor findet Ihr in meiner Schreibtischschublade. Um diese zu öffnen, nehmt Rätselkarte S.



Gefahrenbericht Seite 3

Quelle Bild 1: <https://www.wordlist.com/en/translation/ingesti%C3%B3n/es>

Quelle Bild 2: <https://www.bergpixel.de/2016-ausflugsziele-im-erzgebirge-die-binge-in-geyer/>

Quelle Bild 3: [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Book%3A_General_Biology_\(Boundless\)/34%3A_Animal_Nutrition_and_the_Digestive_System/34.3%3A_Digestive_System_Processes/34.3A%3A_Ingestion](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_and_General_Biology/Book%3A_General_Biology_(Boundless)/34%3A_Animal_Nutrition_and_the_Digestive_System/34.3%3A_Digestive_System_Processes/34.3A%3A_Ingestion)

Quelle Bild 4: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/vorkommen/boden.html>

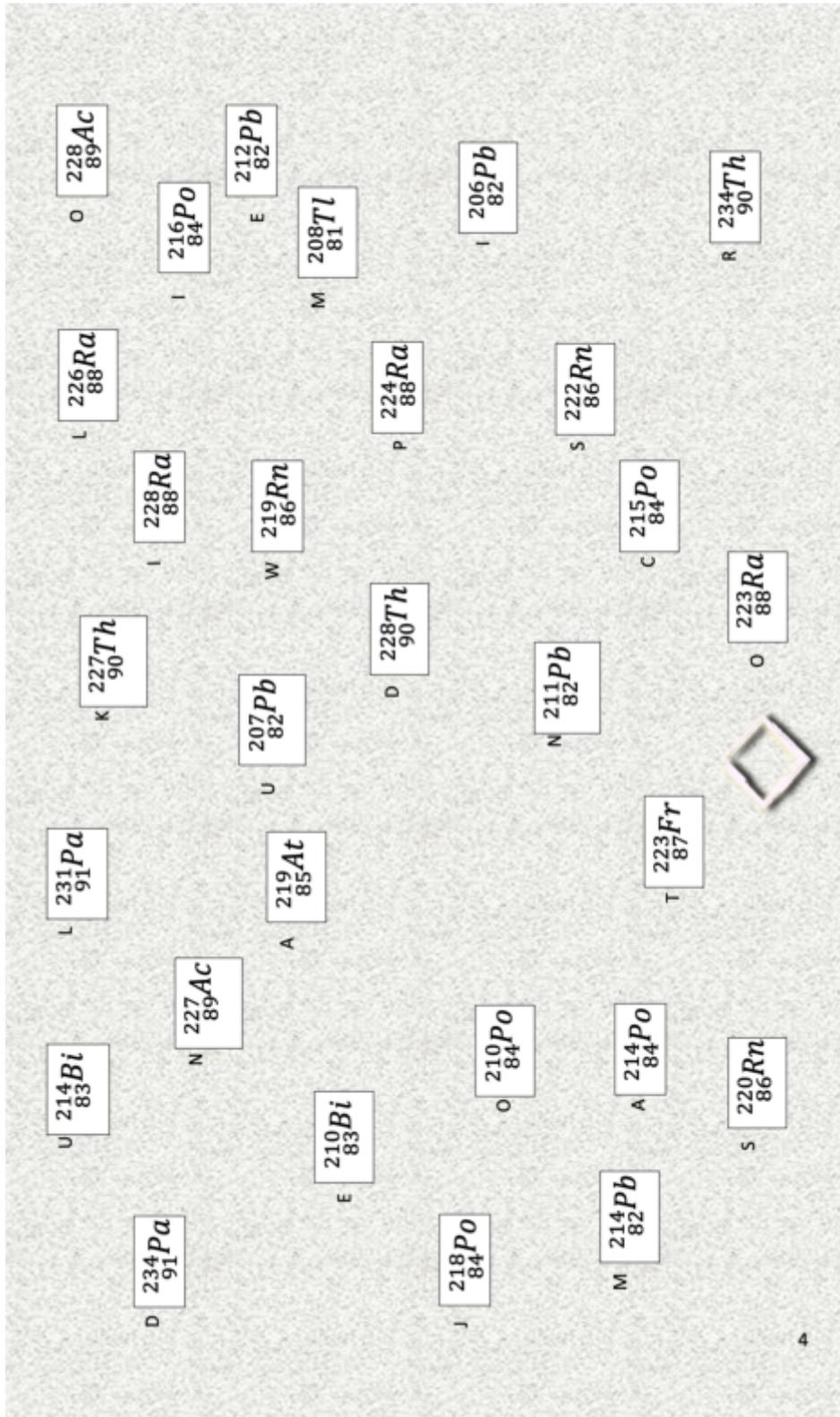
Quelle Bild 5: <http://www.mindat.org/photo-39029.html>

Quelle Bild 6: http://www.aspera-eu.org/index.php?option=com_content&task=view&id=290&Itemid=196

Quelle Bild 7: [https://eu-browse.startpage.com/av/anon-image?piurl=https%3A%2F%2Fmediafiles.urlaubsguru.de%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F04%2FFlugzeug-Landung-bei-Sonnenuntergang-Himmel-iStock_18821989_LARGE-](https://eu-browse.startpage.com/av/anon-image?piurl=https%3A%2F%2Fmediafiles.urlaubsguru.de%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F04%2FFlugzeug-Landung-bei-Sonnenuntergang-Himmel-iStock_18821989_LARGE-2_klein.jpg&sp=1609348308T359df175ecc123853a5d1cd2c04aa7106)

[2_klein.jpg&sp=1609348308T359df175ecc123853a5d1cd2c04aa7106](https://eu-browse.startpage.com/av/anon-image?piurl=https%3A%2F%2Fmediafiles.urlaubsguru.de%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F04%2FFlugzeug-Landung-bei-Sonnenuntergang-Himmel-iStock_18821989_LARGE-2_klein.jpg&sp=1609348308T359df175ecc123853a5d1cd2c04aa7106)

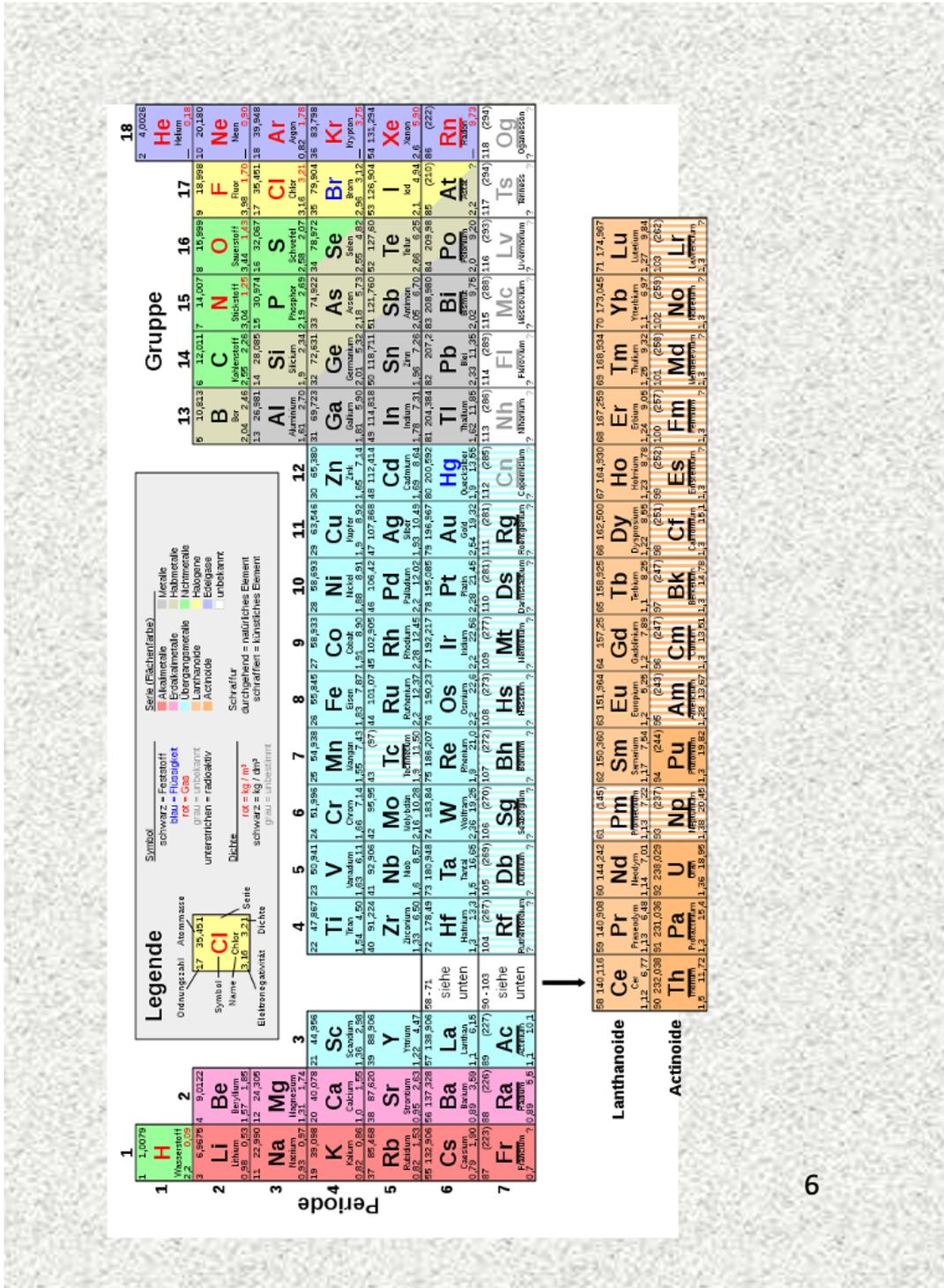
Quelle Bild 8: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/radon_node.html



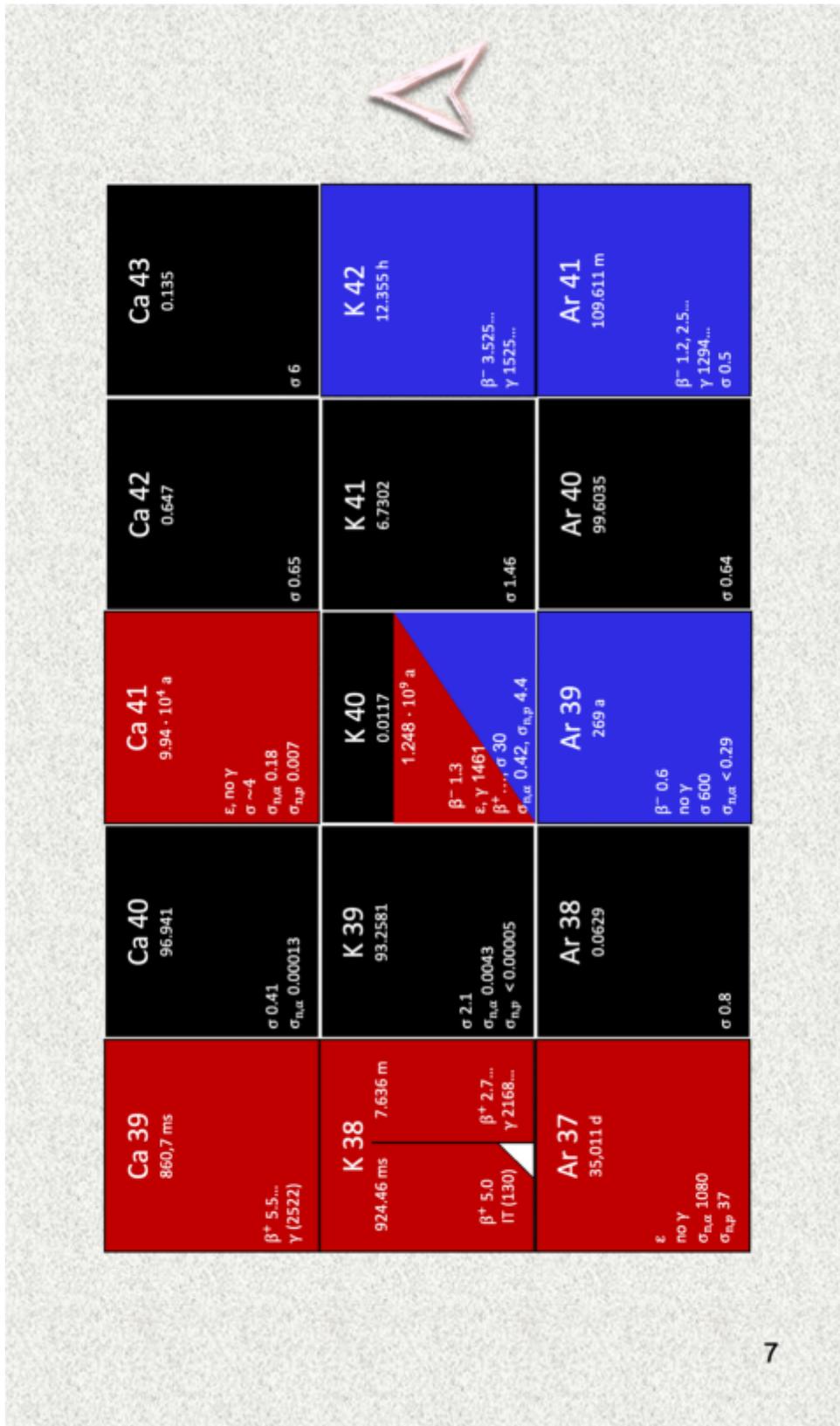
Anleitung zum Anschalten der Radonlüftung

••a•h•g•u•S•T•h•a•d•o•p•k•a•h•v•u•n•b•h•g•v•u•a•n•T•g•b•d•F•g•a•m•s•d•k•n•
••n•a•g•w•h•o•n•s•d•q•v•p•d•F•o•s•a•w•a•d•h•k•L•ö•h•a•v•c•C•g•k•h•k•o•d•s•
•J•n•e•d•u•ä•b•e•G•n•o•v•e•m•u•ä•r•n•e•n•n•l•e•i•d•n•i•n•e•d•o•B•m•e•d•←••••
•D•a•g•h•m•s•x•h•k•a•d•s•n•k•m•p•a•ö•ä•q•p•s•a•d•h•k•n•c•v•y•s•m•d•s•s••••
•a•g•h•m•i•n•a•v•g•h•a•g•h•b•a•h•k•e•w•c•d•e•a•c•c•a•b•a•h•g•e•d•b••••d•u•••
•K•g•a•h•n•e•k•e•n•m•d•a•c•b•a•g•h•a•k•e•d•L•F•e•d•h•x•a•h•g•v•h•n•e••••a•••
•e•>>•j•>>R•a•d•o•n•g•e•l•a•n•g•t•ü•b•e•r•R•i•s•s•e•i•m•F•u•n•d•a•m•e•n•t•f•••
•l•••a••J•n•o•i•t•a•r•t•n•e•z•n•o•K•n•o•d•a•R•←•••a•h•g•k•e•p•d•c•n•x•o•s•d•F•••
•l••j•i•d•s•d•v•a•h•k•n•k•s•m•d•p•n•s•d•n•e•••ö•a•s•d•F•S•k•T•n•o•q•a•e•b•a•
•e•i•j•e•s•d•h•k•L•n•a•u•q•e•r•m•a•e•d•p•c•i•a•d•p•u•a•s•L•k•n•a•S•e•a•k•a•a•
•r•d•a•u•k•a•e•r•s•m•n•a•e•g•k•a•h•e•g•c•a•d•e•q•p•c•x•s•S•F•e•d•g•h•a•n••••
→s•e•l•t•e•n•g•e•l•ü•f•t•e•t•w•e•r•d•e•n•i•s•t•f••d•h•k•a•c•q•e•u•e•s•d•a•a•••••
••m•m•l••o•o•a•g•h•k•n•b•a•e•q•d•v•x•s•a•d•e•o•p•a•d•s•n•k•n•d•s•a•n•k•a•o•••
••J•n•o•i•t•a•n•i•b•m•o•K•e•n•i•e•d•r•i•w•n•e•t•l•a•h•c•s•n•A•m•u•Z•e•f•l•j•h•←
••b•a•c•d•h•o•g•n•b•p•o•ö•S•ö•a•s•d•n•q•e•r•o•d•e•a•e•b•k•p•e•h•a•g•a•m•b•
••e•e•h•a•c•b•k•o•m•a•n•e•m•k•e•d•a•e•m•e•k•o•a•n•e•h•g•k•n•o•e•n•o•→A•f•
••n•m•→e•r•h•ö•h•t•D•i•e•R•a•d•o•n•E•n•t•l•ü•f•t•u•n•g•v•e•r•s•c•h•a•f•f•t•f•••
••→ö•t•j•e•g•t•D•a•s•W•o•r•t•R•a•d•i•u•m•k•ö•n•n•t•e•h•i•l•f•r•e•i•c•h•J•n•o•e•••
e•a•e•o•n•a••l•e•i•d•f•u•a•s•i•e•w•n•j•H•n•e•t•j•e•w•z•n•e•D•n•i•e•s•←•e•n••••k•
•e•k•a•g•h•e•→K•o•m•b•i•n•a•t•i•o•n•w•i•r•d•a•u•f•d•e•r•K•a•r•t•e•l•a•k•e•h•e•
•a•n•e•p•e••n•e•d•n•u•f•e•g•n•e•m•u•ä•r•n•e•n•n•l•n•i•n•o•d•a•R•←•e•b•g••••





Quelle Periodensystem: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Periodensystem_Einfach.svg



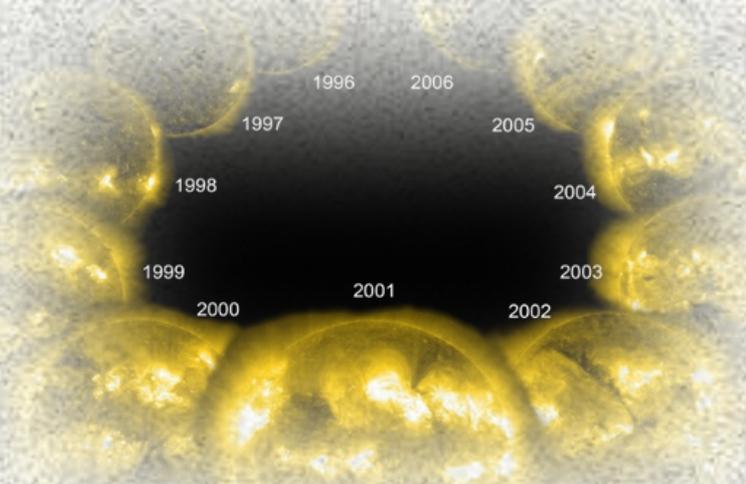
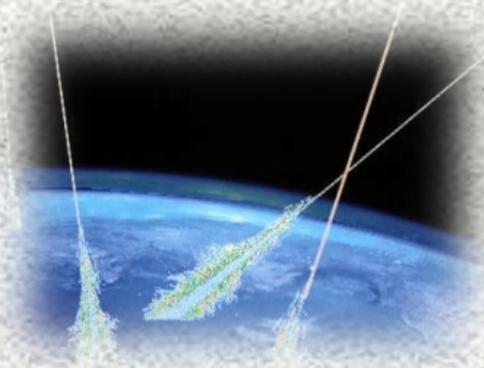
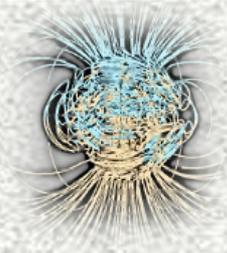
Quelle der Informationen aus der Grafik: J. Magill, R. Dreher, Zs. Sóti, Karlsruher Nuklidkarte, 10.Edition, Nucleonica GmbH, 2018

Antrag auf Forschungsunterstützung

Die EU hat eine Studie zur Untersuchung der Strahlenbelastung bei Kurzstreckenflügen in Auftrag gegeben.

Das Institut für Radioökologie und Strahlenschutz in Hannover untersucht die Strahlung bei Inlandsflügen in Deutschland. Dazu wurde der Crew des Fluges Erzgebirge Aue – Hannover ein Dosimeter und Infomaterial mitgegeben. Das Dosimeter wird in einem Fach des Flugpersonals verstaut. Die Infodateien wurden beschädigt und es lassen sich nur die Bilddateien öffnen. Vermutlich geben die drei Bilder Aufschluss darüber, was gemessen wird. Eine Anleitung zur Bedienung des Dosimeters ist unten zu finden.

Das Dosimeter kann die Dosis und Dosisleistung messen und hat die Möglichkeit, bei der Überschreitung bestimmter Grenzwerte einen Alarmton auszulösen.



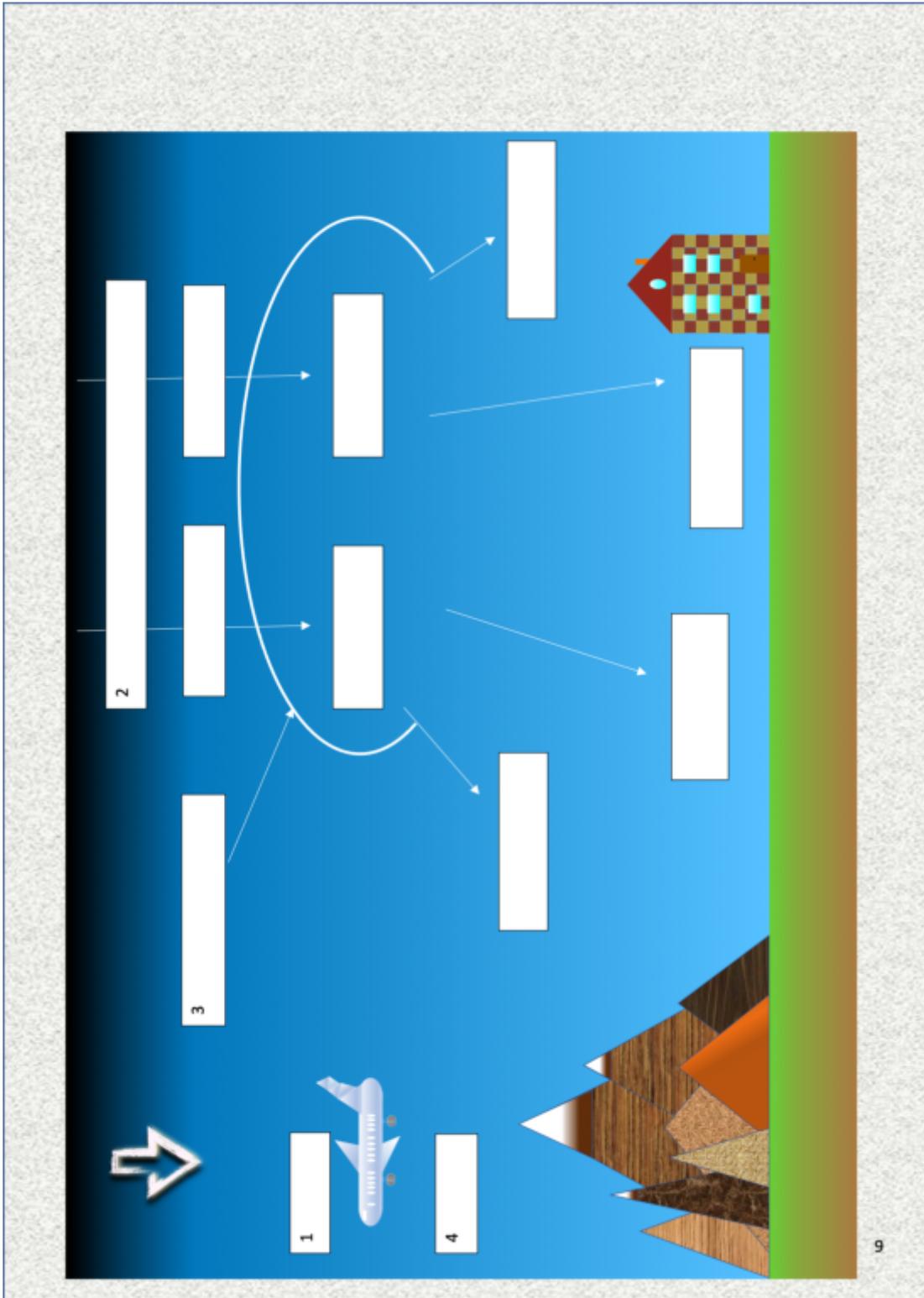
Tipp: Dieses Logikrätsel liefert einen Hinweis auf das MC-Rätsel und hat kein eigenes Lösungswort. Das Lösungswort wird von dem Multiple-Choice-Rätsel **8** geliefert.

Gefahrenbericht Seite 8

Quelle Bild 1: <https://bit.ly/3cK0PX6>

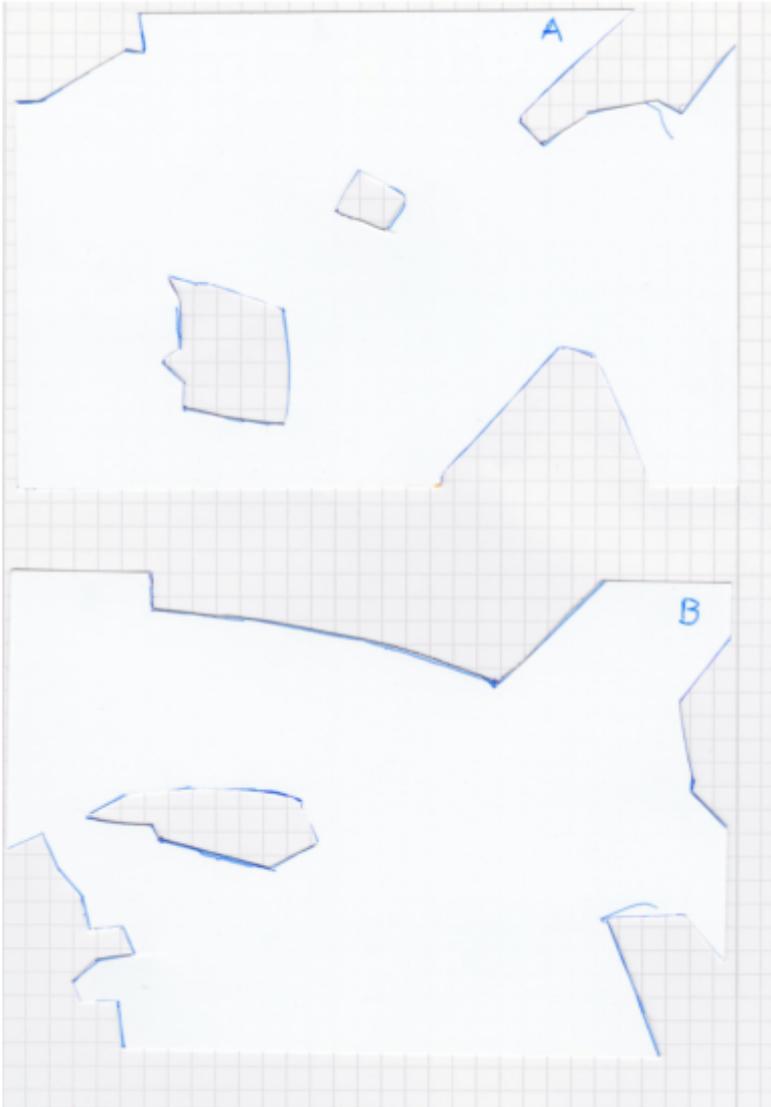
Quelle Bild 2: <https://www.scinexx.de/news/geowissen/raetselhafte-kosmische-strahlen-treffen-die-erde/>

Quelle Bild 3: <https://apod.nasa.gov/apod/ap071203.html>

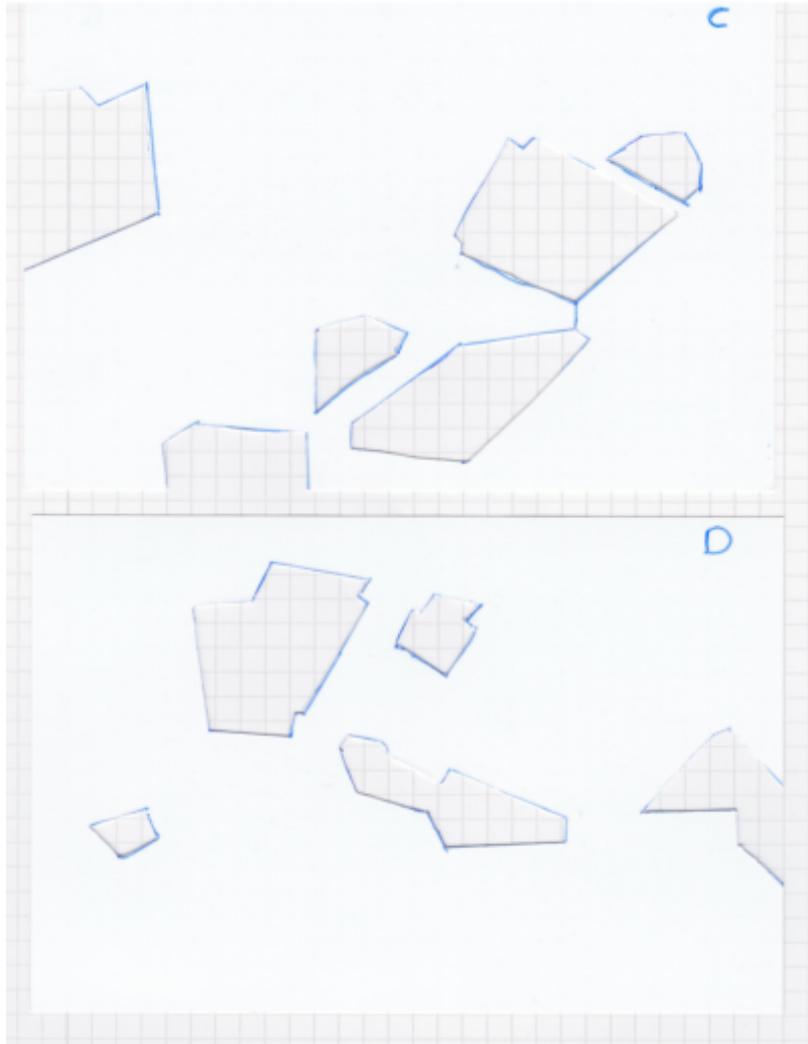


Gefahrenbericht Seite 9

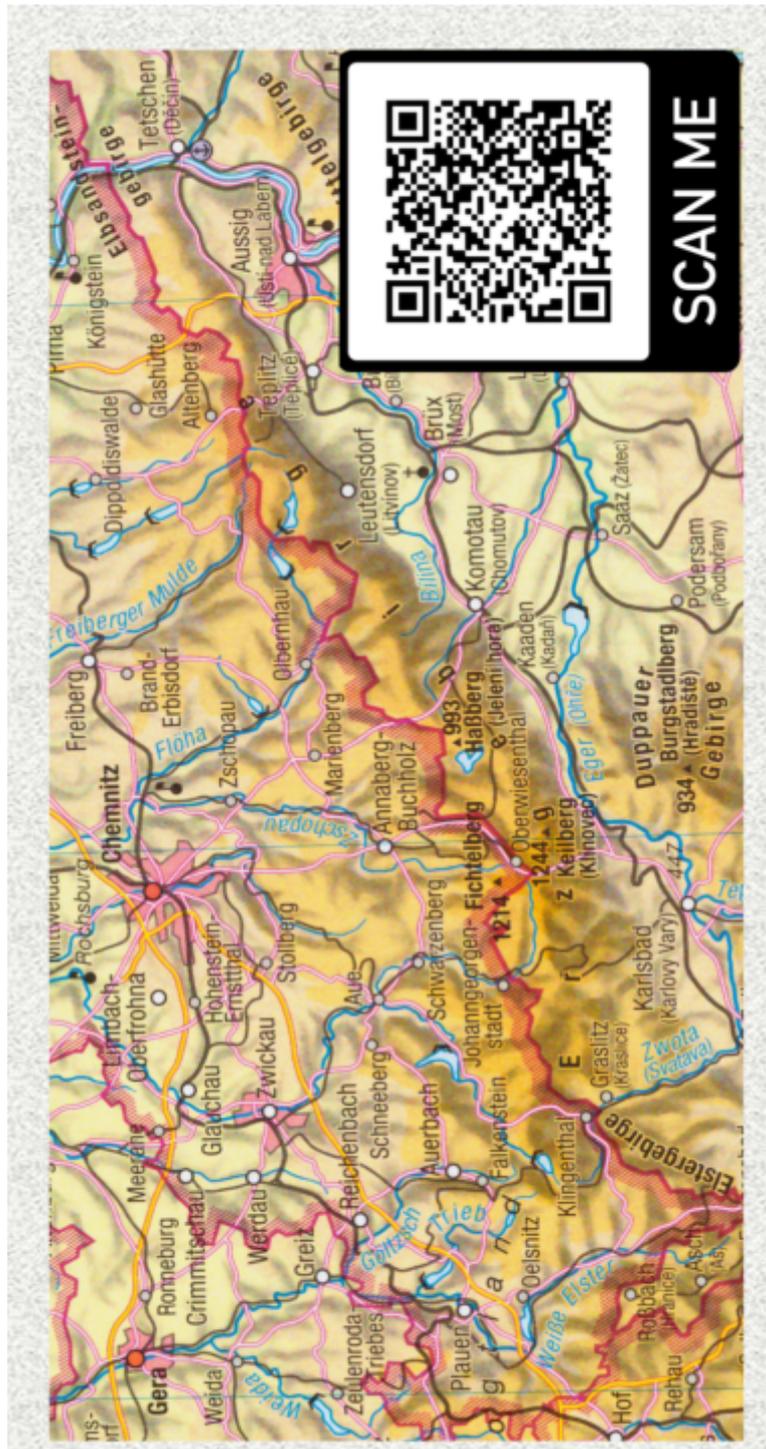
Sonstige Materialien



Teile der Kombination A und B



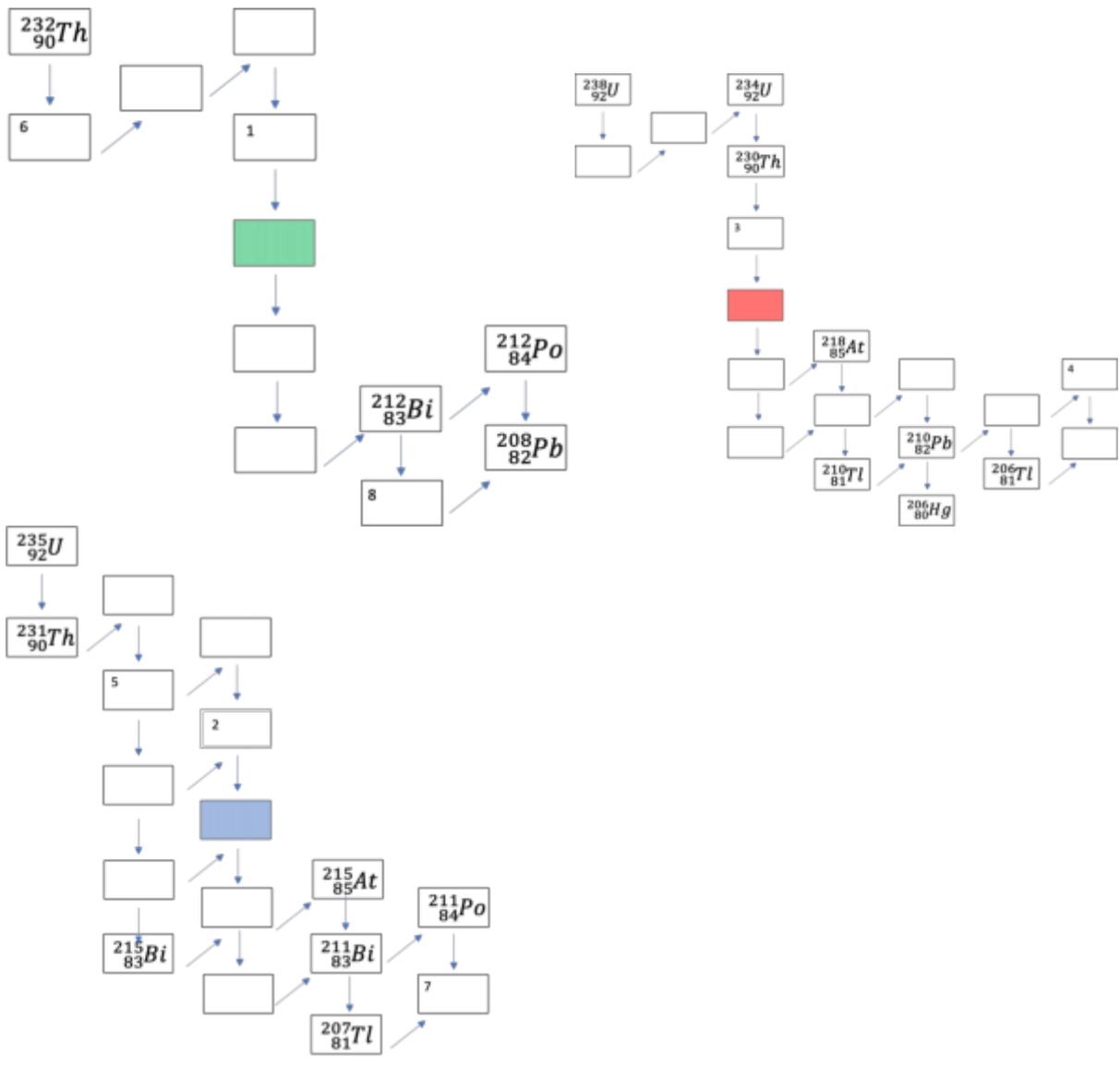
Teile der Kombination C und D



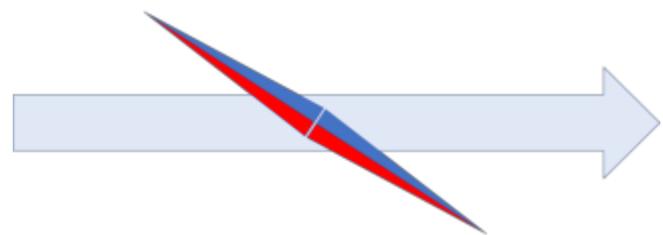
Poster

Quelle QR-Code: <https://www.qrcode-generator.de/>

Quelle Kartenausschnitt: Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH,
Braunschweig, Diercke Weltatlas, 1. Auflage 2008



Grafiken Rätsel Drei



Grafik Rätsel Zwei



Anleitung Deckblatt

Quelle Hintergrund: <https://pixabay.com/photos/plane-runway-star-photoshop-3009873/>

Spielmaterial

216 Karten

- 26 Rätselkarten
- 8 Multiple-Choice-Karten
- 136 Lösungskarten
- 46 Hilfskarten

1 Stecknadel

1 Brief

1 Poster

1 Handzählgerät

1 Gefahrenbericht

1 Nuklidkarte

5 seltsame Teile

- 4 Teile
- 1 Eingabefeld

Zusätzlich benötigtes Spielmaterial

Zusätzlich benötigt Ihr einen Kugelschreiber, mindestens eine Schere und bei Bedarf Papier, um Notizen zu machen. Außerdem wird eine Uhr, oder Stoppuhr, benötigt.

1

Anleitung Seite 1

Quelle Hintergrund: <https://pixabay.com/illustrations/paint-grunge-canvas-texture-190234/>

Spielvorbereitung

Die Karten sortiert Ihr nach ihren Rückseiten in vier Stapel:

Rätsel-Karten

Lösungskarten

Multiple-Choice-Karten

Hilfe-Karten

Legt die fünf seltsamen Teile, die Nuklidkarte, die Stecknadel und den Brief am Rand des Tisches bereit. Dieses Material wird erst später im Spiel benötigt.

Prüft, ob die Rätselkarten in aufsteigender Reihenfolge sortiert sind. Die Hilfe-Karten sollen nach ihrem Symbol sortiert werden. Diese unterteilen sich in Hilfe-Karten für die Logikrätsel und die Multiple-Choice-Rätsel. Die Logikrätsel haben zwei Tipps und eine Auflösung und die Multiple-Choice-Rätsel haben einen Tipp und eine Auflösung. Zu zwei der Logikrätseln gehört kein Multiple-Choice-Rätsel, dementsprechend fehlen auch die Hilfe-Karten dazu.

Die fünf Karten mit dem gleichen Symbol legt ihr so übereinander, dass die Auflösung der Multiple-Choice-Rätsel ganz unten liegt, gefolgt von dem Tipp der Multiple-Choice-Rätsel, der Auflösung des Logikrätsels und dem 2. Tipp des Logikrätsels. Obendrauf kommt der 1. Tipp des Logikrätsels. Legt die Stapel dann an den Rand des Tisches.

Wo ist der Spielplan?

Es gibt in diesem Spiel keinen Spielplan. Wie die Räume aussehen und was passiert müsst ihr selber herausfinden. Zu Beginn des Spiels stehen euch ein Notizbuch sowie ein Poster mit einem Kartenausschnitt und QR-Code zur Verfügung.

Im Laufe des Spiels kommen Rätselkarten und Multiple-Choice-Karten dazu. Diese dürfen aus dem Stapel genommen werden, wenn die Texte darauf hinweisen. Zu acht von zehn Logikrätseln gehört ein Multiple-Choice-Rätsel. Das Thema des Logikrätsels gibt einen Hinweis darauf, welche Multiple-Choice-Karte dazugehört.

3

In den Räumen gibt es unterschiedliche Codierungen, die die Lösungen der Logik- und Multiple-Choice-Rätsel zusammenfassen. Eine Lösungskarte dürft ihr immer erst dann nehmen, wenn ihr auf die entsprechende Karte hingewiesen werdet. Dazu braucht ihr eine Lösung des Logikrätsels und eine Lösung für das Multiple-Choice-Rätsel. Abhängig von der Codierung in dem Raum werden beide Lösungen verwendet.

Der Brief, die Stecknadel, die Nuklidkarte und die fünf seltsamen Teile dürfen erst benutzt werden, wenn ausdrücklich darauf hingewiesen wird. Bis dahin müssen sie am Tischrand bleiben.

Spielablauf

Euer Ziel ist es, in möglichst kurzer Zeit wieder an Euer Gepäck zu kommen. Doch auf dem Weg müsst Ihr einige Rätsel lösen, ohne deren Lösung Ihr nicht weiterkommt. Die Rätsel sind so aufgebaut, dass zunächst ein Logikrätsel gelöst wird. Dieses liefert eine Lösung und das Thema des Logikrätsels gibt einen Hinweis auf die Multiple-Choice-Karte. Das Multiple-Choice-Rätsel liefert ebenfalls eine Lösung.

4

Die Lösung aus beiden Rätseln ergeben zusammen mit der Codierung die passende Lösungskarte. Ist der Code falsch, so teilt Euch die Lösungskarte mit, dass Ihr es nochmal versuchen sollt. Ist der Code richtig, dann führt Euch der Text auf der Lösungskarte zum nächsten Rätsel. Ihr dürft die Rätsel nur nacheinander lösen. Das bedeutet, die nächste Seite im Gefahrenbericht oder die nächste Rätselkarte darf erst aufgedeckt werden, wenn dazu aufgefordert wird. In diesem Spiel gibt es drei unterschiedliche Codierungsarten. Im ersten Raum muss die Lösung des Logikrätsels auf die Zahlen der richtigen Lösungen des Multiple-Choice-Rätsels addiert werden. Die Summe dieser Zahlen verweist auf die richtige Lösungskarte. Am Ende der Anleitung lässt sich eine detaillierte Beschreibung zum Vorgehen bei der ersten Codierung finden. Im zweiten Raum liefert die Lösung des Logikrätsels ein Element und das Multiple-Choice-Rätsel die Massenzahl. Die Halbwertszeit zu diesem Nuklid ergibt die Lösungskarte. Der dritte und vierte Raum teilen sich eine Codierung. Das Logik- und das Multiple-Choice-Rätsel ergeben Elemente deren Ordnungszahlen aufsummiert, die Ordnungszahl des neuen Elements liefern. Das neue Element weist auf die Lösungskarte hin.

5

Benötigt Ihr Hilfe?

Falls Ihr mal nicht weiterkommt, so könnt ihr die Hilfe-Karten verwenden. Zu jedem Logikrätsel gibt es drei Hilfe-Karten und zu jedem Multiple-Choice-Rätsel gibt es zwei. Die Hilfe-Karten mit dem 1. Tipp geben einen ersten nützlichen Tipp und ordnet das Rätsel ungefähr in dem Themenbereich an. Der 2. Tipp gibt einen konkreten Hinweis auf die Lösung des Rätsels. Die Hilfe-Karten „Auflösung“ verraten die Lösung, sowie den Code für das Rätsel.

Wann endet das Spiel?

Das Spiel endet, wenn Ihr das letzte Rätsel gelöst und wieder im Besitz eures Gepäcks seid. Das erfahrt Ihr über eine Karte.

Wertung

Alle Rätsel zu lösen ist ein großer Erfolg. Doch wenn Ihr darüber hinaus wissen wollt, wie gut ihr gerätselt habt, könnt Ihr in den Tabellen nachschauen. Bei der Anzahl der verwendeten Hilfskarten zählen nur die Karten, die euch neue Hinweise/Lösungen verraten.

	< 10 mSv	< 25 mSv	< 40 mSv	< 65 mSv	> 65 mSv
< 75 min	10 Punkte	8 Punkte	7 Punkte	6 Punkte	5 Punkte
< 90 min	9 Punkte	7 Punkte	6 Punkte	5 Punkte	4 Punkte
< 100 min	8 Punkte	6 Punkte	5 Punkte	4 Punkte	3 Punkte
< 120 min	7 Punkte	5 Punkte	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte
> 120 min	6 Punkte	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte	1 Punkt

1 – 3 Punkte	Ihr solltet die Unterlagen zur natürlichen Radioaktivität unbedingt nochmal durchgehen. Auf die Prüfung seid ihr noch nicht gut genug vorbereitet.
4 – 6 Punkte	Ihr solltet die Unterlagen zur natürlichen Radioaktivität nochmal durchlesen. In großen Teilen sieht das schon ganz gut aus aber sicher ist sicher!
7 – 8 Punkte	Ihr habt Euch gut geschlagen. An einigen Stellen ist noch Nachholbedarf, aber das war eine solide Leistung!
9 – 10 Punkte	Ihr habt das Thema der natürlichen Radioaktivität drauf und habt Euch hervorragend geschlagen! Die Prüfung wird bei so einer Leistung keine Herausforderung darstellen.

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 Spielmaterial von erfolgreich gelösten Rätseln beiseite, um einen besseren Überblick zu behalten.

Die Handlung

Es ist der letzte Tag eurer Klassenfahrt ins Erzgebirge. Bei einem Ausflug am Tag zuvor, habt Ihr einige interessant aussehende Steine eingepackt, die Ihr als Erinnerungsstücke für Euch und Eure Familien mitbringen wollt. Beim Kofferpacken am Abend zuvor, habt Ihr die Steine sicher verstaut. Nach einem kräftigenden Frühstück begeben sich Ihr, unter der Aufsicht von Herrn Klaus, zum Internationalen Flughafen Erzgebirge Aue. Im späteren Verlauf des Tages wird Eurer Rückflug nach Hannover von hier starten. Herr Klaus stellt es Eurer Klasse frei, sofort einzuchecken oder noch das Angebot der Läden und Restaurants außerhalb der Sicherheitszone zu nutzen.

Ihr entscheidet Euch dafür, direkt durch die Sicherheitskontrolle zu gehen, um in den Duty-Free-Läden shoppen zu können. Doch beim Scannen eures Handgepäcks werdet Ihr nicht wie erwartet durchgewunken, sondern ein Mitarbeiter des Flughafens bittet Euch, zu einem Gespräch kurz zur Seite zu kommen.

Ihr kriegt die Information, dass Euer Gepäck auf dem Überwachungsschirm auffällig geworden ist und zur genaueren Untersuchung in die Abteilung für Gefahrgüter gebracht wird. Wenn Ihr Euch dort hinbegebt werdet Ihr weitere Informationen bekommen. Ihr befolgt die erhaltene Wegbeschreibung und werdet angewiesen, in Raum 005 auf den Strahlenschutzbeauftragten (SSB) des Flughafens zu warten. An der Tür prangt das Strahlenwarnzeichen. Die Tür fällt hinter Euch ins Schloss.

Ihr seht Euch im Raum genauer um und Euch fällt ein Notizbuch mit der Aufschrift "Gefahrenbericht" ins Auge. An der Wand hängt außerdem ein Poster mit einer Karte und einem QR-Code in der Ecke.

Das Spiel beginnt

Worauf wartet Ihr? Startet jetzt die Stoppuhr oder den Timer! Nun dürft ihr Seite 1 des Gefahrenberichts anschauen und mit dem Spiel beginnen.

10

Optionale Erklärung der Codierung

Falls Ihr Schwierigkeiten habt, herauszufinden wie im ersten Raum die Zahl des Logikrätsels lautet, könnt Ihr die folgende Beschreibung zu Rate ziehen. Doch Achtung! Falls Ihr lieber noch ein bisschen rätseln wollt, dann lest die Erklärung nicht.

Das Poster mit dem Kartenausschnitt und der QR-Code liefert den Ansatz, um den Code zu lösen. Durch das Scannen des QR-Codes wird man auf die ODL-Info Seite geführt, auf der eine Karte mit den verschiedenen Messstellen in Deutschland dargestellt ist. Das Logikrätsel liefert den Namen der Messstelle. Durch das Anklicken des Punktes auf der Karte erscheint ein Pop-up Fenster und es gibt die Option „zur Messstelle“. Durch das Klicken auf „zur Messstelle“ wird man weitergeführt auf die zu der Messstelle gehörende Seite. Neben dem Namen der Messstelle steht die Postleitzahl dazu.

Addiert man auf diese Postleitzahl die zugehörigen Zahlen der Multiple-Choice Rätsel, erhält man die Lösungskarte.