



Leibniz Universität Hannover

Institut für Strahlenschutz und Radioökologie

Bachelorarbeit

Entwicklung eines didaktischen Instruments zur Vermittlung dosimetrischer Begriffe im Strahlenschutz

Vorgelegt von: Dennis Raulin Matrikelnummer: 10002249

Abgabetermin: 20. August 2019

Erstpüfer: 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, 20. August

Dennis Raulin

Inhaltsverzeichnis

1	Einl	eitung		1
2	ME	ET CIN	NCH	2
	2.1	Flippe	ed Classroom	. 2
3	Prol	blemlös	sen	4
	3.1	Proble	e m	. 4
	3.2	Proble	emlösekompetenz	. 5
	3.3	Prozes	ss des Problemlösens	. 6
	3.4	Spiele	n in der Lehre	. 7
4	Dos	imetris	sche Größen im Strahlenschutz	g
	4.1	Allgen	meine Dosisbegriffe	. 9
		4.1.1	Energiedosis	. 9
		4.1.2	Ionendosis	. 9
		4.1.3	Kerma	. 10
	4.2	Schutz	zgrößen	. 11
		4.2.1	Körper-Äquivalentdosis	. 12
		4.2.2	Organ-Energiedosis	. 12
		4.2.3	Organ-Äquivalentdosis	. 13
		4.2.4	Effektive Dosis	. 14
	4.3	Messg	rößen	. 16
		4.3.1	Mess-Äquivalenzgröße	. 16
		4.3.2	Ortsdosis	. 18
		4.3.3	Personendosis	. 19
5	Das	Exit-S	Spiel zur Verarbeitung von Dosimetrischen Größen	20
	5.1		conzept	. 20
	5.2	Spielm	naterial	. 21
	5.3	Spielv	orbereitung	. 21
	5.4		blauf	
	5.5		andlung	
	5.6		ellung der einzelnen Rätsel	
		5.6.1	Rätsel 1: Deterministische Strahlenschäden	. 24
		5.6.2	Rätsel 2: Stochastische Schäden	. 26
		5.6.3	Rätsel 3: 3 A Regeln	. 27
		5.6.4		. 29

Lit	eratı	ır		55
7	Zusa	ammen	fassung und Ausblick	53
	6.3	Metho	dische Analyse	52
	6.2	Sachar	nalyse und Didaktische Analyse	51
		6.1.2	Spezielle Unterrichtsvoraussetzungen	51
		6.1.1	Allgemeine Unterrichtsvoraussetzung	50
	6.1	Unterr	ichtsvoraussetzungen	50
6	Dida	aktisch	e Analyse des erstellten Exit-Spiels	50
		5.6.15	Mögliche Lösungen der Rätsel	48
			Rätsel 14: Natürliche Radioaktivität	
		5.6.13	Rätsel 13: Ortsdosis und Personendosis	
		5.6.12	Rätsel 12: Mess-Äquivalentdosis	43
		5.6.11	Rätsel 11: Qualitätsfaktor	
		5.6.10	Rätsel 10: Körperäquivalentdosis	40
		5.6.9	Rätsel 9: Effektive Dosis	37
		5.6.8	Rätsel 8: Organ-Äquivalentdosis	35
		5.6.7	Rätsel 7: Organ-Energiedosis	33
		5.6.6	Rätsel 6: Die Kerma	32
		5.6.5	Rätsel 5: Energiedosis	30

1 Einleitung

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines didaktischen Instruments zur Vermittlung dosimetrischer Begriffe im Strahlenschutz. Die methodische Verarbeitung soll in Form eines Exit-Spiels durchgeführt werden. Im Verlauf werden die in dem Spiel verarbeiteten physikalischen Größen vorgestellt und das Spiel näher erläutert. Hierbei wird auf das eigentliche Spielkonzept, den Spielablauf und die einzelnen Rätsel eingegangen. Darüber hinaus wird die Bedeutung des Spielens in der Lehre thematisiert und es wird aufgezeigt, welche Rolle dabei die Problemlösekompetenz einnimmt.

Diese Arbeit entsteht im Rahmen von MEET CINCH und Flipped Classroom, dessen Bedeutung im Folgenden geklärt wird. Die Idee ist dabei im Kontext des Flipped Classrooms, eine Anwendung des Exit-Spiels zu finden.

2 MEET CINCH

MEET CINCH ist ein Europaweites Projekt, welches auf eine Verbesserung der Ausbildung von qualifiziertem Personal auf Master- und Doktorantenniveau im Bereich der Kernphysik und Radiochemie abzielt. MEET CINCH führt die Arbeit der CINCH-I und CINCH-II Projekte weiter, die in den Jahren 2010 bis 2016 statt gefunden haben. Dabei befasste sich CINCH-I mit der Zusammenarbeit in der Bildung zur Radiochemie. Im Speziellen waren hier die Analyse und die Entwicklung des Programmes von Bedeutung. CINCH-II legte den Schwerpunkt auf die Zusammenarbeit und das Training in der Bildung zur Radiochemie. Wichtig war hierbei die Implementierung des Konzepts und die Evaluation. Das Projekt wird durch das "Euratom research and training programme" finanziell unterstützt. MEET CINCH steht dabei für "A Modular European Education and Training Concept in Nuclear and Radiochemistry".

Die zwei großen Hauptziele von MEET CINCH sind die Erhöhung der Anzahl von Aus- und Weiterbildungskursen im Bereich der Radiochemie, sodass diese für die Enduser leichter verfügbar sind. Das zweite Hauptziel ist die Akquirierung neuer Talente im Bereich der Radiochemie, durch die Erhöhung des Bewusstseins in der Gesellschaft in Bezug auf die thematischen Felder in der Radiochemie.

Hierfür liegen zwei Ansätze zugrunde. Zum einen soll die Entwicklung eines MOOCs, sogennate "Massive Open Online Course", vorangetrieben werden. Zum anderen wird die Anwendbarkeit des Flipped Classrooms, auch Inverted Classroom, in der Ausund Weiterbildung innerhalb der Kernphysik und Radiochemie untersucht. [vgl. 19]

2.1 Flipped Classroom

Bei dem Flipped Classroom, auch Inverted Classroom, werden die Zeitpunkte der Inhaltsvermittlung und des Übens und Vertiefens vertauscht. Die Inhaltsvermittlung soll nicht mehr durch die Lehrkraft vor Ort geschehen, sondern an anderen Orten außerhalb der Präsenzphasen. Meist findet die Inhaltsvermittlung über Lernvideos statt. Das Ziel ist es hierbei, mehr Zeit für das gemeinsame Lernen und die Anwendung des Gelernten zu generieren. Dieses Konzept kann sowohl in der Schule, wie auch in Hochschulen Anwendung finden. Die Lernenden können somit ihr Tempo selbst bestimmen. Wichtig hierbei ist, dass die Inhaltsvermittlung vor den Präsenzphasen geschieht, damit die Lernenden aktiv an der Problemstellung in der Übungsphase mitarbeiten können. Die Übungsphase profitiert von der Anwesenheit der Lehrkräfte und Mitlernenden. Die gemeinsame Erarbeitung von Lösungen steht dabei im Mittelpunkt. Sollten bei den einzelnen Lernenden Probleme auftreten, kann

Hilfe durch kompetentes Personal gewährleistet werden. [vgl. 6]

3 Problemlösen

In diesem Kapitel wird zunächst unter Berücksichtigung einiger Definitionen, eine einheitliche Beschreibung des Begriffes "Problem" herausgearbeitet. Anschließend wird der Begriff "Problemlösekompetenz" anhand verschiedener Definitionen beleuchtet. Darüber hinaus wird geklärt, welche Phasen während eines Problemlöseprozesses relevant sind. Als letztes wird der Blick auf die Praxis gelegt und beleuchtet, welche Bedeutung das Spielen in der Lehre hat.

3.1 Problem

Der Psychologe Klix spricht von einem "Problem", wenn ein Ausgangszustand und ein Zielzustand existieren und das "nicht unmittelbare gelingende Überführen von Anfangs- und Zielzustand" besteht. [vgl. 11]

Nach Duncker entsteht ein "Problem" genau dann, wenn "ein Lebewesen ein Ziel hat und nicht weiß, wie es dieses Ziel erreichen soll. Wo immer der gegebene Zustand sich nicht nur durch bloßes Handeln in den erstrebten Zustand überführen lässt." [vgl. 4]

Ein "Problem" ist eine Barriere zwischen einem unbefriedigenden Ausgangszustand und einem gewünschten Zustand, wobei aufgezeigt wird, dass in solchen Situationen eine neuartige Wissensvermittlung nötig wird. [vgl. 15]

Dörner beschreibt das Problem folgendermaßen: "Ein Individuum steht einem Problem gegenüber, wenn es sich in einem inneren oder äußeren Zustand befindet, den es aus irgendwelchen Gründen nicht für wünschenswert hält, aber im Moment nicht über die Mittel verfügt, um den unerwünschten Zustand in den wünschenswerten Zustand zu überführen." [3] Darüber hinaus grenzt Dörner die "Aufgabe" und das "Problem" voneinander ab: "Wenn die Transformation des Ist-Zustands in den Soll-Zustand produktives Denken erfordert, dann stehen wir vor einem Problem. Andernfalls handelt es sich nur um eine Aufgabe." [3] Dementsprechend spielt hierbei die Vorerfahrung, ob es sich um ein Problem oder eine Aufgabe handelt, eine große Rolle. [vgl. 9]

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Hauptaugenmerk auf der Unterscheidung zwischen "Problem" und "Aufgabe" liegt. Hierbei ist der oder die Problemlösende auf der Suche nach einer Lösung, die nicht offensichtlich ist, wobei nach einem kognitivem oder kreativem Aufwand verlangt wird, um den gewünschten Zielzustand zu erreichen. Die Anwendung von Algorithmen kann dementsprechend nicht im Vordergrund einer Problemlösung stehen. In den oben angeführten Definitionen spielt eine Barriere zwischen Ist-Zustand und Soll-Zustand eine große Rolle, bei dem

das produktive Denken ein wichtiger Faktor ist. [vgl. 9]

3.2 Problemlösekompetenz

Die Definition des Psychologen Hussy ist stark an den Problembegriff angelehnt. Dieser beschreibt die Problemlösekompetenz als "Bestreben, einen gegebenen Zustand (Ausgangs- oder Ist-Zustand) in einen anderen, gewünschten Zustand (Zieloder Soll-Zustand) zu überführen, wobei es gilt, eine Barriere zu überwinden, die sich zwischen Ausgangs- und Zielzustand befindet." [7]

Nach Tietze habe eine Person eine gute Problemlösekompetenz, falls diese mindestens eines von drei genannten Bestandteilen eines Problems finden, sollten die anderen beiden teilweise oder ganz gegeben sein. [vgl. 16]

Darüber hinaus beschreibt Van Someren die Problemlösekompetenz als einen zielorientiereten kognitiven Prozesses, der Anstrengung und Aufmerksamkeit erfordert. Die Lösung kann dabei nicht in einem Schritt erreicht werden. [vgl. 17]

Die Problemlösekompetenz umfasst für Bruder folgende Eigenschaften: das Verstehen des Problems, das Anwenden von Basiswissen, das Stellen von Fragen und das Ausprobieren und Experimentieren. Darüber hinaus ist hierbei von Bedeutung, dass die Lernenden Anstregungsbereitschaft und Reflexionsfähigkeit zeigen. [vgl. 2]

Die OECD beschreibt die Problemlösekompetenz als "an individual's capacity to engage in cognitive processing to understand and resolve problem situations where a method of solution is not immediately obvious. It includes the willingness to engage with such situations in order to achieve one's potential as a constructive and reflective citizen." [5] Damit ist gemeint, dass die Problemlösenden die individuelle Kapazität besitzen, um komplexe Problemstellungen aus der Realität zu verstehen und zu lösen, ohne dass ein Lösungsweg direkt ersichtlich ist. Darüber hinaus wird mit der "Problemlösekompetenz" die Motivation verknüpft, dass sich die Problemlösenden mit solchen Situationen auseinander setzen und dabei ihr gesamtes Potential als logisch denkende und reflektierte Individuen abrufen. [vgl. 5]

Als Zusammenfassung für den Begriff "Problemlösekompetenz" können nun folgende Punkte festgehalten werden. Die Problemlösenden suchen für eine Problemsituation einen Lösungsweg und sollten sich auf den Lösungsprozess einlassen können, beziehungsweise die Bereitschaft haben, sich dieser Situation auszusetzen. Darüber hinaus soll zur Lösungsfindung das Vorwissen eingesetzt werden, um mit den eigenen Möglichkeiten einen Lösungsweg zu finden, welcher auf dem ersten Blick nicht offensichtlich ist. Daher ist in solchen Situationen ein strategisches Vorgehen, aber zugleich auch Kreativität zur Lösungsfindung gefordert. Abschließend sollte der oder

die Problemlösende in der Lage sein, das Vorgehen während des Lösungsprozesses reflektieren zu können. [vgl. 9]

3.3 Prozess des Problemlösens

Um den Prozess des Problemlösens näher zu beleuchten, wird das Rubikon-Modell betrachtet, welches in vier Phasen beschreibt, wie es zu einer Handlung und damit auch zur Problemlösung kommt. Dieses Vorgehen wurde von Heckhausen im Jahr 1987 entwickelt.

In der ersten Phasen werden zunächst Wunsch und Realisierbarkeit abgewogen. Das bedeutet, dass die zur Verfügung stehenden Mittel und die Realisierbarkeit verschiedener Pläne in Betracht gezogen werden müssen. Am Ende der ersten Phase steht die Intentionsbildung. Diese ist das Ergebnis der sogenannten Fazittendenz und nimmt mit der Länge des Abwägens zu, da für die Problemlösenden hier der Eindruck entsteht, alle Optionen betrachtet zu haben. Anschließend führt dies zum Entschluss. In der zweite Phase werden die Aktivitäten auf die Realisierung des Ziels gerichtet. Die Volitionsstärke beschreibt hier die Selbstverpflichtung, das vorgegebene Ziel zu erreichen, welches auch die Fiattendenz widerspiegelt. Sollten mehrere Ziele parallel verfolgt werden, so entscheidet die Höhe der Fiattendenz darüber, welches der Ziele vorrangig verfolgt wird. Diese Phase ist hauptsächlich von der Planungsaktivität gekennzeichnet.

Die dritte Phase ist für die Realisierung der angestrebten Handlung vorgesehen. Das Problemlösen steht hierbei im Vordergrund und die Zielrealisierung wird beharrlich verfolgt, selbst wenn dafür die Lücken in den Handlungsplänen überwunden werden müssen.

In der vierten Phase wird sich auf das Ergebnis der Handlung konzentriert. Dabei steht die Evaluation im Mittelpunkt. Hierfür wird bei Erreichen des Ziels, das Ziel deaktiviert. Wird das Ziel nicht erreicht, kann das Anspruchsniveau gesenkt oder ein neuer Versuch unternommen werden, um das Ziel zu erreichen. [vgl. 9, 1]

Tabelle 1: Das Rubikon-Modell [vgl. 1]				
	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
Phase	Motivation	Volition	Volition	Motivation
	(Prä)			(Post)
Bewusstseinslage	Abwägen	Planen	Handeln	Bewerten
Tendenz	Fazittendenz	Fiattendenz	-	-

3.4 Spielen in der Lehre

Spiele haben nach Oerter und Montanda wichtige didaktische Funktionen: "[...], weil sie äußerst relevante Ziel fördern können, etwa soziale Ziele, Grundqualifikationen sozialen Handelns wie Toleranz, Rücksichtnahme, Einfühlungsvermögen, Flexibilität. Spiele können die Phantasie anregen, Kreativität herausfordern. Auch Wahrnehmungsleistungen, motorische Fertigkeiten und Intelligenzleistungen werden durch Spielaktivitäten gefördert." [vgl. 14, 10] Dass Spiele die Kreativität fördern, ist auch von Quarch und Hüther zu lesen: "Nur dann, wenn wir zwanglos mit unseren Gedanken herumspielen können, wenn niemand verlangt, dass die neue Idee bis zum Quartalsende entwickelt werden muss, können wir Menschen unser kreatives Potenzial wirklich entfalten." [8] Dieser Rahmen wird dem Menschen durch das Spielen gegeben. Daher ist für Quarch und Hüther auch die Setzung der Spielregeln von großer Bedeutung, damit ein Spiel auch ein Spiel bleibt. Diese sollen jedem die Gelegenheit geben "[...]sich innerhalb der Spielregeln frei zu fühlen, seine kreativen Potenziale zu entfalten, seine Fähigkeiten und Fertigkeiten zu vervollkommen, sein Wissen und Können zu erweitern, sich also spielerisch weiterzuentwickeln." [8] Genau diese Entfaltung des kreativen Potenzials in einer Spielumgebung ist zur Entwicklung von Lösungswegen und Lösungsstrategien ein wichtiger Bestandteil.

Ein weiterer Punkt, der im Zusammenhang der Lehre und Spielen steht, ist das spielerische Lernen. Nach Kipman bedeutet das spielerische Lernen, dass Spielende im spielerischen Umgang mit Gegenständen, bestimmte Zusammenhänge verstehen oder bestimmte Fragestellungen lösen. Dabei werden das Verständnis von einigen Zusammenhängen erarbeitet, indem verschiedene Ansätze spielerisch probiert werden und somit das Wissen erweitert wird. Diesen Punkt greifen Quarch und Hüther ebenfalls auf und verweisen dabei auf die Tierwelt, in der Säugetiere ebenfalls durch kleinere Spiele Verhaltensweisen lernen. Tierkinder "[...] lernen all das, was sie später im Leben brauchen, und bauen dabei die dazu erforderlichen neuronalen Verschaltungsmuster in ihrem Gehirn automatisch auf, indem sie spielen." [8] Daher kommt dem Spielen in der Lehre eine wichtige Bedeutung zu. [vgl. 8, 9]

Darüber hinaus untersuchte Kipman in ihrem Buch "Problemlösen" einige Brettspiele, die Problemlösekompetenz erfordern und mit denen sich Problemlösen erlernen lässt. Besondere Bedeutung für diese Arbeit hat die Untersuchung von "Exit - Das Spiel", welches von dem Kosmos-Verlag herausgegeben wurde. Deshalb werde ich auf dieses ein besonderes Augenmerk legen. [vgl. 9]

In dieser Untersuchung wurden die Spiele im Hinblick auf vier Kompetenzen untersucht. Zum einen wurde geschaut, inwieweit die Spielenden eigene Lösungsstrategien entwickeln sollen. Außerdem war hierbei von Interesse, ob Zusammenhänge erkannt

und genutzt werden sollen und eventuell durch Transferleistungen auf andere Sachverhalte übertragen werden müssen. Der nächste Punkt der Untersuchung beinhaltete die eigenständige Überwindung einer Barriere durch gegebene Informationen. Der letzte Schwerpunkt wurde auf die Fragestellung gelegt, inwieweit die Spielenden sich aktiv mit dem Problem auseinandersetzen müssen und eine eigene Möglichkeit des Lösens finden müssen. Diese zu untersuchenden Kompetenzen werden in einer Skala von 1 bis 10 eingeschätzt. [vgl. 9]

In der Untersuchung schneidet "Exit - Das Spiel" in allen untersuchten Kompetenz mit der höchsten Bewertung ab. Dies ist in der ersten Abbildung zu erkennen. Das Ergebnis ist ein Indiz dafür, dass die Spielreihe zumindest die Spielende vor Probleme stellt, welche über kreative Lösungswege und Transferleistungen gelöst werden müssen. Darüber hinaus wird eine aktive Auseinandersetzung mit gestellten Problemen gewährleistet. [vgl. 9]



Abbildung 1: Ergebnis der Untersuchung zu "Exit - Das Spiel" [9]

Daher kann an dieser Stelle zusammengefasst werden, dass das Spielen die Problemlösekompetenz, Kreativität und die Entfaltung des eigenen Potentials fördert. Insbesondere berücksichtigt "Exit - Das Spiel" alle untersuchten Kompetenzbereiche und ist zum verbessern und stärken der Problemlösekompetenz besonders gut geeignet.

4 Dosimetrische Größen im Strahlenschutz

Die Auswahl der zugrundeliegenden dosimetrischen Größen für das gestaltete Exit-Spiel wurden auf Grundlage der Vorlesung im Wintersemester 2018/19 von Herrn Prof. Dr. Clemens Walther und dem Buch "Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes" von Hans-Gerrit Vogt und Jan-Willem Vahlbruch getroffen. Im Folgenden werden die, für das Spiel verwendeten, dosimetrischen Größen vorgestellt und unter physikalischem Gesichtspunkt beleuchtet. Dabei werden die Begriffe in allgemeine Dosisbegriffe, Schutzgrößen und Messgrößen unterteilt.

4.1 Allgemeine Dosisbegriffe

4.1.1 Energiedosis

Die Energiedosis D beschreibt das Verhältnis aus der Strahlung die an die Materie in einem kleinen Volumenelement übertragenen mittlere Energie und der Masse des bestrahlten Volumenelements.

$$D = \frac{\triangle W}{\triangle m} \tag{1}$$

Diese Größe trägt die Einheit J/kg, die auch als Gray (Gy) bezeichnet wird. Dabei entspricht ein Gray der Energiedosis, bei der ein Joule auf ein Kilogramm Masse übertragen wird. Die Energiedosis trägt die historische Einheit Rad (rd). Nach Definition gilt hierfür: 1rd = 0,01 J/kg = 0,01 Gy. Die Energiedosis ist für alle Arten der Strahlung anwendbar. Die Energieabgabe der Strahlungsteilchen ist jedoch abhängig von dem bestrahltem Material. Daher ist es sinnvoll, die Energiedosis in Verbindung des bestrahlten Materials anzugeben. Im praktischen Strahlenschutz wird sich üblicherweise zur Beschreibung des menschlichen Körpers, auf das ICRU-Weichteilgewebe bezogen, welches einer Zusammensetzung aus Muskelgewebe entspricht. [vgl. 18, 20]

4.1.2 Ionendosis

Heutzutage wird die Ionendosis noch immer gemessen, um die Energiedosis zu bestimmen. In diesem Fall wird die erzeugte Ladung positiver Ionen und negativer Elektronen gemessen, da dies eine verknüpfte Wirkung der Energieübertragung darstellt. Der messtechnische Aufbau ist so gestaltet, dass die freigesetzte Ladung in

Luft gemessen wird. Das Verhältnis aus der gemessenen Ladung und der in dem Volumenelement enthaltenen Masse trockener Luft entspricht der Ionendosis J.

$$J = \frac{\triangle Q}{\triangle m_L} \tag{2}$$

Die Ionendosis trägt die Einheit C/kg. Auch heutzutage ist die historische Einheit Röntgen (R) gebräuchlich. Hierbei gilt definitionsgemäß: $1R=2,58\cdot 10^{-4}$ C/kg. Dies entspricht der Erzeugung von $1,61\cdot 10^{12}$ Ionen Paaren in 1g trockener Luft. Für jede betrachtete Strahlungsart in dem gleichen Stoff mit der Erzeugung einer bestimmten Menge an Ionen, ist mit demselben Energieverlust zu rechnen. Daher kann unter bestimmten Umstände, die in Luft gemessene Ionendosis verwendet werden, um die im Körpergewebe durch gleiches Strahlungsfeld erzeugte Energiedosis zu bestimmen. Damit von der Ionendosis auf die Energiedosis geschlossen werden kann, muss die Standard-Ionendosis J_s bestimmt werden. Hierfür wird das Volumen, in dem gemessen wird, mit luftäquivalenten Wänden umgeben. Dies ermöglicht eine

Messung der Ionendosis von Photonen bis circa drei MeV. Sollten die Photonen eine höhere Energie besitzen, so wird die sogenannte Hohlraum-Ionendosis gemessen. Diese wird in einem kleinen, gasgefüllten Hohlraum mit gewebeäquivalenten Wänden gemessen. Über Umrechnungsfaktoren kann aus der Standard-Ionendosis oder Hohlraum-Ionendosis die Energiedosis bestimmt werden.

- 1 R (in Luft) $\stackrel{\wedge}{=}$ 0,01 Gy in Weichteilgewebe
- 1 C/kg (in Luft) $\stackrel{\wedge}{=}$ 38,08 Gy in Weichteilgewebe

Zur Berücksichtigung anderer Strahlungsarten und Körperbestandteile werden auch andere Umrechnungsfaktoren verwendet, welche erheblich von der Energie der Strahlungsteilchen abhängt. [vgl. 18, 20]

4.1.3 Kerma

Beim Auftreffen von ungeladene Strahlungsteilchen auf Materie, geben diese ihre Energie ganz oder teilweise an Sekundärteilchen ab. Anschließend werden durch weitere Wechselwirkungen die Energiebeträge an die Materie abgegeben. Dies lässt sich beispielsweise bei Photonen und Comptonelektronen beobachten. Werden die Anfangswerte der kinetischen Energie dieser Sekundärteilchen, die in Materie des kleinen beobachteten Volumenelements freigesetzt werden, summiert und durch die Masse des Volumens geteilt, so ergibt sich die Kerma (kinetic energy released in

matter). Die Einheit der Kerma ist J/kg und trägt den Namen Gray.

Wie im vorherigen Abschnitt definiert, beschreibt die Kerma ebenfalls die Energiebeträge, die von Sekundärelektronen aufgenommen werden, welche möglicherweise ihre Energie erst außerhalb des beobachteten Volumenelementes abgeben. Die Kerma kann durch eine gegebene Fluenz und Wechselwirkung der primären Strahlungsteilchen mit dem Bezugsmaterial bestimmt werden, ähnlich wie auch die Standard-Ionendosis. Darüber hinaus ist die Kerma für ein bestimmtes Bezugsmaterial auf jedes Umgebungsmaterial anwendbar. Die freigesetzten Elektronen geben ihre Energie nicht immer lokal über Bremsstrahlung im Volumen ab, daher ist die Kerma kein direktes Maß für die Energiedosis. Damit die Kerma und die Energiedosis zahlenwertmäßig gleichzusetzen sind, wird ein Strahlungsfeld mit Sekundärelektronen-Gleichgewicht (SEG) benötigt. Dies ist der Fall, wenn die Sekundärelektronen genauso viel Energie in die Materie hineintragen, wie diese heraustragen. Dann gilt für die Luftkerma K_a und die Standard-Ionendosis J_s , durch Vernachlässigung des Bremsstrahlunsanteils und über den Faktor $f_s = 8,764 \cdot 10^{-3} GyR^{-1}$, folgendes:

$$K_a = f_s \cdot J_s \tag{3}$$

[vgl. 18, 20]

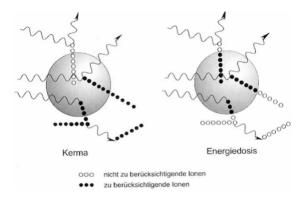


Abbildung 2: Der Unterschied zwischen Kerma und Energiedosis [vgl. 18]

4.2 Schutzgrößen

Im praktischen Strahlenschutz wird zwischen den Messgrößen, welche bei der Strahlungsmessung verwendet werden und nicht messbare Schutzgrößen, die in Rechtsvorschriften zur Festlegung von Grenzwerten genutzt werden, unterschieden. Sie beschreiben zum einen Ortsdosis und Personendosis und zum anderen effektive Do-

sis und Organ-Äquivalentdosis. Durch die Messgrößen sollen Dosisgrößen definiert werden, welche Schätzwerte für die effektive Dosis und die Organ-Äquivalentdosis liefern. Die Messgrößen und die Schutzgrößen basieren jeweils auf der Äquivalentdosis. Daraus ergibt sich für die Schutzgrößen die Körper-Äquivalentdosis beziehungsweise für die Messgrößen die Mess-Äquivalentdosis.

Das Ziel für die Dosimetrie im Strahlenschutz gibt vor, die Körper-Äquivalentdosis zu bestimmen. Also die Organ-Äquivalentdosis H_T der bestrahlten Körperteile und Organe und der effektiven Dosis E. Für diese Größen existieren in der Rechtsvorschrift Grenzwerte, die nicht überschritten werden dürfen. [vgl. 18]

4.2.1 Körper-Äquivalentdosis

Die Äquivalentdosis beschreibt die Dosis, welche die unterschiedliche biologische Wirkung von Strahlungsart, Strahlungsenergie und die unterschiedliche Strahlungsempfindlichkeit der einzelnen Gewebe und Organe durch strahlenbiologische Wichtungsfaktoren berücksichtigt. Die Einheit der Äquivalentdosis ist das Sievert (Sv), wobei 1 Sv = 1 J/Kg gilt.

$$H = Q \cdot D \tag{4}$$

Die Körper-Äquivalentdosis kann nicht direkt gemessen werden, daher werden in der Praxis spezielle Messverfahren eingesetzt, mit denen Messgrößen erhalten werden, die bis zu einem Überschreiten bestimmter Grenzwerte als hinreichend zuverlässig angenommen werden können. Hierfür werden bei Expositionen durch externe Strahlungsquellen die Ortsdosimetrie mit den Messgrößen Ortsdosis und Ortsdosisleistung und die Personendosimetrie mit der Messgröße Personendosis verwendet. Sollte eine interne Strahlungsexposition auftreten, so werden die Folge-Organ-Äquivalentdosis und die effektive Folgedosis abgeschätzt. [vgl. 18, 20]

4.2.2 Organ-Energiedosis

Die Organ-Energiedosis $D_{T,R}$ ist als die Energiedosis eines bestrahlten Gewebes, Organs oder Körperteils T, der Strahlungsqualität R durch interne oder externe Strahlungsexposition über die Masse. Die Einheit der Organ-Energiedosis $D_{T,R}$ ist das Gray. [vgl. 18, 20]

4.2.3 Organ-Äquivalentdosis

Um die Berücksichtigung der biologischen Strahlenwirkung verschiedener Strahlungsqualitäten abzuschätzen, wird für die Betrachtung der Schutzgrößen der Strahlungswichtungsfaktor w_R eingeführt. Dieser bezieht sich auf das primäre Strahlungsfeld, also auf das Strahlungsfeld ohne bestrahlte Materie. Der Strahlungswichtungsfaktor wird außerdem noch mit der Strahlungsart und Strahlungsenergie angegeben. Im Gegensatz zur Mess-Äquivalentdosis, welche eine Punktgröße ist, liefert das Produkt aus Organ-Energiedosis und Strahlungswichtungsfaktor w_R einen Mittelwert, der als Organ-Äquivalentdosis $H_{T,R}$ bezeichnet wird. Die Organ-Äquivalentdosis $H_{T,R}$ trägt die Einheit Sievert. Auch hier gilt 1 Sv = 1 J/Kg.

$$H_{T,R} = w_R \cdot D_{T,R} \tag{5}$$

Der Strahlungs-Wichtungsfaktor ist dimensionslos und ist dem Bewertungsfaktor q zahlenmäßig gleich. Sollten verschiedene Strahlungsqualitäten auftreten, so ergibt sich die Organ-Äquivalentdosis $H_{T,R}$ als Summe über die einzelnen Strahlungsqualitäten.

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \tag{6}$$

Die Strahlungswichtungsfaktoren w_R finden auch in der deutschen Rechtsvorschrift Anwendung und wurden aus zahlreichen Tierversuchen für stochastische Strahlenwirkung ermittelt. Darüber hinaus dienen die Strahlungs-Wichtungsfaktoren der Festlegung von Dosisgrenzwerten. Der Strahlungswichtungsfaktor w_R für Neutronen ist von der Neutronenergie E_n abhängig und wird daher auch in Abhängigkeit der Neutronenergie angegeben. Bei unbekannter Neutronenergie wird dieser als 10 angenommen.

Die Organ-Äquivalentdosis für die Haut ist die Energiedosis in 0,07 mm Gewebetiefe und wird über die gesamte Oberfläche der Haut gemittelt. Von besonderer Bedeutung für die Rechtsvorschriften ist die lokale Haut-Äquivalentdosis. Diese ist das Produkt aus der Energiedosis, die über eine Fläche von $1cm^2$ der Haut gemittelt wurde und dem Strahlungswichtungsfaktor. [vgl. 18, 20]

Strahlungsart und Energiebereich w_R Photonen, Elektronen, Myonen 1

Protonen und geladene Pionen 2

Alphateilchen, Spaltfragmente, Schwerionen 20

Für Neutronen: $E_n < 1 \text{ MeV}$ $2,5 + \frac{-(ln(E_n))^2}{18,2e}$ $1 \text{ MeV} \le E_n \le 50 \text{ MeV}$ 5 + 17e = 6 $2,5 + \frac{-(ln(2E_n))^2}{3,25e}$ $1 \text{ MeV} \le E_n \le 50 \text{ MeV}$

Tabelle 2: Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R [18]

4.2.4 Effektive Dosis

Für die Abschätzung von stochastischer Strahlenwirkung werden Beobachtungen zugrunde gelegt, die besagen, dass gleiche Organ-Äquivalentdosen in unterschiedlichen Geweben und Organen T stochastische Schäden mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit $R_{S,T}$ auslösen. Bei einer vereinfachten Annahme zwischen Dosis und Wirkung, kann davon ausgegangen werden, dass dieser Zusammenhang linear ist. Daraus ergibt sich dann für die Wahrscheinlichkeit $R_{S,T}$ folgendes Produkt:

$$R_{S,T} = r_{S,T} \cdot H_T \tag{7}$$

 $r_{S,T}$ beschreibt dabei den Risikokoeffizient, welcher das Verhältnis aus Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer stochastischen Strahlenwirkung im Körperteil T gegenüber der Organ-Äquivalentdosis H_T beschreibt. Aus dem Gesamtrisikokoeffizient $r_s = \sum r_{S,T}$ und dem Gewebewichtungsfaktor w_T , der den relativen Anteil eines Körperteils T am Gesamtrisiko angibt, lässt sich der Risikokoeffizient bestimmen.

$$r_{S,T} = r_S \cdot w_T \tag{8}$$

Somit kann die Wahrscheinlichkeit R_S , dass nach einer Strahlungsexposition eine stochastische Strahlenwirkung auftritt folgendermaßen aufgeschrieben werden:

$$R_S = \sum_T R_{S,T} = r_S \sum_T w_T \cdot H_T = r_S \cdot E \tag{9}$$

4.2 Schutzgrößen

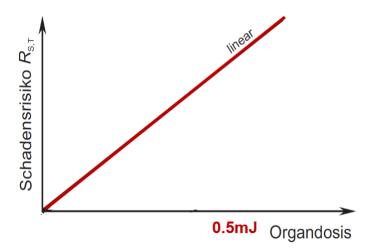


Abbildung 3: Der lineare Zusammenhang zwischen Schadensrisiko $R_{S,T}$ und Organdosis [20]

Hierbei ist nun $\sum_T w_T \cdot H_T$, die Summe der Produkte aus Gewebe-Wichtungsfaktor und Organ-Äquivalentdosis über alle risikorelevanten Gewebe und Organe, die effektive Dosis. Diese trägt die Einheit Sievert. Für die effektive Dosis gilt somit:

$$E = \sum_{T} w_T \cdot H_T = \sum_{T} w_T \cdot \sum_{R} w_R \cdot D_{T,R}$$
 (10)

Aus (9) ist zu entnehmen, dass die effektive Dosis die Möglichkeit bietet, über Festlegung von Grenzwerten ein rechnerisches Risiko für die Auslösung stochastischer Strahlenwirkung abzuschätzen.

Der Gewebe-Wichtungsfaktor ist dimensionslos. In der folgenden Tabelle sind die Gewebe-Wichtungsfaktoren aufgetragen, die auch in den deutschen Rechtsvorschriften festgehalten sind. Diese beruhen auf Untersuchungen der Überlebenden, der Atombombenabwürfe über Hiroshima. Hierbei wird nicht nur das Todesfallrisiko betrachtet, sondern auch die Krankheitsverläufe, die keinen tödlichen Ausgang haben. Beispielsweise der Verlust von Lebensjahren oder schwere Erbkrankheiten. Die Gewebe-Wichtungsfaktoren sind für alle Gewebe über Alter und Geschlecht gemittelt. Durch große Unsicherheiten der Ausgangsdaten wurden auf Gruppenwerte gerundet, daher sind die Gewebe-Wichtungsfaktoren nur Näherungswerte.

Tabelle 3: Gewebe-Wichtungsfaktor w_T [18]
an oder Gewebe

Gew

Organ oder Gewebe	Gewebe-
	Wichtungsfaktor
	$ w_T $
Keimdrüsen	0,08
Knochenmark (rot), Dickdarm, lunge, Magen, Brust,	jeweils 0,12
restliches Gewebe	
Blase, Speiseröhre, Leber, Schilddrüse	jeweils 0,04
Knochenoberfläche, Gehirn, Speicheldrüse, Haut	jeweils 0,01

Das restliche Gewebe umfasst folgende Organe: Nebennieren, obere Atemwege, Gallenblase, Herz, Nieren, Lymphknoten, Muskelgewebe, Mundschleimhaut, Bauchspeicheldrüse, Prostata, Gebärmutter, Dünndarm, Milz und Thymus. [vgl. 18, 20]

4.3 Messgrößen

4.3.1 Mess-Äquivalenzgröße

Trotz gleich großer Energiedosen ionisierender Strahlung, können unterschiedliche biologische Wirkung auftreten. Die biologische Wirkung nimmt mit Ioniesierungsdichte beziehungsweise linearem Energieübertragungsvermögen zu. Diese hängen jeweils von der Ladung, der Energie und der Masse der Teilchen ab. Um die unterschiedliche biologische Wirkung beurteilen zu können, wird in der Strahlungsbiologie die Relative Biologische Wirksamkeit (RBW) heran gezogen. Dabei wird angegeben, wie viel größer die Energiedosis der zu bewertenden Strahlung im Vergleich zu Energiedosis einer Vergleichsstrahlung sein muss, damit dieselbe biologische Wirkung zustande kommt. Die RBW hängt von vielen Einflussfaktoren ab, welche nicht leicht zu bestimmen sind. Daher wurden für den praktischen Strahlenschutz die Qualitätsfaktoren Q festgelegt, die eine einheitliche Beschreibung der verschiedenen Strahlungsarten leisten. Die Qualitätsfaktoren hängen von der Strahlungsart und Strahlungsenergie ab. Somit ist die Mess-Äquivalentdosis folgendermaßen definiert:

$$H = Q \cdot D \tag{11}$$

Die Mess-Äquivalentdosis trägt die Einheit Sievert. Auch hier gilt 1Sv = 1J/kg und trägt die historische Einheit Rem (rem).

Der Qualitätsfaktor Q ist dimensionslos. Bei der Bestimmung wird von dem linearen Energieübertragungsvermögen L in Wasser ausgegangen, da dies eng mit der

biologischen Wirksamkeit verknüpft ist. Durch Beobachtungen wurde festgestellt, dass die biologische Wirkung pro Dosis beim Durchgang durch eine Zelle mit zunehmender Ionisierungsdichte zunächst zunimmt und bei sehr hoher Ionisierungsdichte wieder abnimmt. Die verschiedenen L-Werte geladener Strahlungsteilchen in Wasser werden unterschiedlichen Qualitätsfaktoren von 1-30 zugeordnet.

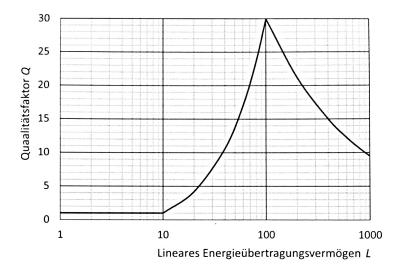


Abbildung 4: Der Qualitätsfaktor Q in Abhängigkeit des Energie-Übertragungsvermögen L [18]

Tabelle 4: Die Qualitätsfaktoren in Abhängigkeit der linearen Energieübertragungsvermögen L
[vgl. 18]

L in $\frac{keV}{\mu m}$ in Wasser	Q
< 10	1
10-100	$0,32 \cdot L - 2,2$
>100	$\frac{300}{\sqrt{L}}$

Mithilfe der Qualitätsfaktoren werden keine Grenzwerte oder Risiken abgeschätzt. Sie dienen der Definition der Mess-Äquivalentdosis, welche die Basis für die Dosis-Messgrößen bildet. [vgl. 18, 20]

4.3.2 Ortsdosis

Unter der Ortsdosis wird die an einem bestimmten Ort gemessene Mess-Äquivalentdosis verstanden. Diese Messungen werden in der Ortsdosimetrie in einem freien Strahlungsfeld, ohne die Anwesenheit von jeglichen Personen, durchgeführt. Dadurch können im Voraus Strahlungsexpositionen für Menschen abgeschätzt werden. Jedoch kann die tatsächliche Strahlungsexposition erheblich größer ausfallen. Insbesondere ist dies bei Neutronen zu beachten, da die Sekundärstrahlung ebenfalls zur Energiedosis beitragen kann, welche sehr weit entfernt von dem Ort der ersten Neutronen-Wechselwirkung entfernt sein kann. Um nun genauere Untersuchungen anstellen zu können, muss ein hinreichend körperähnliches Phantom zugrunde gelegt werden, sodass die ermittelte Mess-Äquivalentdosis dem entsprechenden Phantom zugeordnet werden kann.

Durch Einführung der ICRU-Kugel, ist es nun möglich, eine einheitliche Formulierung der Ortsdosis für alle Strahlungsarten zu finden. Diese Kugel soll einem Stellvertreter des menschlichen Körpers darstellen. Die Kugel ist aus gewebeäquivalentem Material der Dichte 1 g/cm^2 gefertigt und hat einen Durchmesser von 30 cm. Bei der Messung wird zwischen der Richtungs-Äquivalentdosis in 0,07 mm Tiefe $(H'(0,07,\vec{\Omega}),$ der Richtungsdosis in 3 mm Tiefe $(H'(3,\vec{\Omega}))$ und der Umgebungs-Äquivalentdosis $(H^*(10))$ unterschieden.

Bei Strahlungen mit geringer Eindringtiefe wird die Ortsdosis als Richtungs-Äquivalentdosis $H'(0,07,\vec{\Omega})$ und gegebenenfalls $H'(3,\vec{\Omega})$ angegeben.

Bei durchdringender Strahlung hingegen wird die Ortsdosis als die Äquivalentdosis $H^*(10)$ oder gegebenenfalls die Richtungs-Äquivalentdosis $H'(3,\vec{\Omega})$ angegeben. Ist eine Strahlungsfeld sowohl durchdringend und sind zusätzlich Anteile Strahlungen geringer Eindringteife zu berücksichtigen, sind $H^*(10)$, $H'(3,\vec{\Omega})$ und $H'(0,07,\vec{\Omega})$ anzugeben. Die Einheit der Richtungs-Äquivalentdosis und der Umgebungs-Äquivalentdosis ist jeweils Sievert.

In der ICRU-Kugel werden die Messwerte für die im Körper erzeugte Organ-Äquivalentdosis angegeben. Hierbei beschreibt $H'(0,07,\vec{\Omega})$ den Standardwert für die Epidermis, sodass bei $H'(0,07,\vec{\Omega})$ auch von der lokalen Haut-Äquivalentdosis gesprochen wird. Die Richtungs-Äquivalentdosis $H'(3,\vec{\Omega})$ wird für die Abschätzung der Augenlinsen-Äquivalentdosis verwendet. Sollte diese Messgröße nicht zu ermitteln sein, so wird als Schätzwert $H'(0,07,\vec{\Omega})$ herangezogen. Bei 10 mm Gewebetiefe wird eine Dosis $H^*(10)$ abgeschätzt, die nicht den Maximalwert in der ICRU-Kugel angibt. Daraus ergibt sich aber ein zuverlässigen Schätzwert für die effektive Dosis und Organ-Äquivalentdosis. [vgl. 18, 20]

4.3.3 Personendosis

Die Personendosis ist die gemessene Dosis an einer für das Strahlungsfeld repräsentativen Stelle des Körpers. Diese Messungen haben eine dokumentarische Bedeutung, weil sie ein Maß für die tatsächliche Strahlungsexposition während einer Tätigkeit darstellen. Bei der Personendosis wird zwischen der Tiefen-Personendosis $H_p(10)$, Oberflächen-Personendosis $H_p(0,07)$ und Augenlinsen-Personendosis $H_p(3)$ unterschieden. Darunter wird die Mess-Äquivalentdosis in 10, 0,07 und 3 mm Tiefe an der Tragestelle des Dosimeters verstanden. Die Personendosis trägt ebenfalls die Einheit Sievert. Für Strahlungsexpositionen geringer Eindringtiefe wird zur Abschätzung $H_p(0,07)$ und gegebenenfalls $H_p(3)$ verwendet. Für durchdringende Strahlung wird zur Abschätzung $H_p(10)$ und gegebenenfalls $H_p(3)$ verwendet. Durch die richtige Trageweise ergibt sich eine sichere Abschätzung für die Überwachung der Körper-Äquivalentdosis in Bezug auf Photonen und Neutronen. Sollte das Messgerät nicht an einer repräsentativen Stelle des Strahlungsfeldes angebracht sein, so kann die effektive Dosis auch unterschätzt werden. [vgl. 18, 20]

5 Das Exit-Spiel zur Verarbeitung von Dosimetrischen Größen

5.1 Spielkonzept

Das Spielkonzept basiert auf dem Konzept eines Escape-Rooms im Gesellschaftsspielformat. In einem Escape-Room wird eine Kleingruppe, welche sich typischerweise auf eine Gruppenstärke von 2 bis 8 Personen beläuft, in einem Raum eingesperrt. Ziel ist es nun, den Raum in einer vorgegebenen Zeit wieder zu verlassen. Dabei spielen Teamwork, Geschick und logisches Denken eine große Rolle. Zunächst wird meist eine kleine Geschichte erzählt, um den Handlungsrahmen festzulegen. In dem Raum sind Gegenstände, Lösungshinweise und Rätsel versteckt. Die Lösungshinweise und verschiedenen Gestände müssen so kombiniert werden, dass die Rätsel gelöst werden, um dann den Raum verlassen zu können. [vgl. 21]

Angelehnt ist das erstellte Spiel an die Spielreihe des Kosmos-Verlages "Exit - Das Spiel", welche von Inka und Markus Brand entwickelt worden ist. Die ersten Spiele dieser Spielreihe erschienen 2016. Es werden eine zahlreiche Palette an Themen und Handlungen angeboten. Die Spiele werden in drei Kategorien "Einsteiger", "Fortgeschrittene" und "Profis" unterteilt. Je nach Fähigkeit und Erfahrung mit Exit-Spielen kann also hier die gewünschte Schwierigkeit gewählt werden. Da im Laufe des Spiels, Materialien geknickt, zerrissen oder geschnitten werden müssen, kann das Spiel jedoch nur ein Mal gespielt werden. So ist es ebenfalls bei dem erstellten Exit-Spiel der Fall. Bei diesen Spielen werden die Spieler anhand von Rätsel-Karten, Lösungs-Karten und Hilfe-Karten durch das Spiel geleitet. Zusätzlich haben die Spieler hier einige Gegenstände aus Pappe, ein Heft, welches mit Rätseln gefüllt ist, und eine Decodierscheibe zur Verfügung. Am Anfang des Spiels wird die Handlung in Form eines kleinen Textes umrissen. Das Ziel ist hierbei, die Rätsel so schnell wie möglich und mit einer kleinen Anzahl an Hilfe-Karten zu lösen und so aus den gedachten Räumen zu entkommen. Die Rätsel-Karten enthalten meist Lösungshinweise zu den Rätseln in dem Rätselheft. Ist ein Rätsel gelöst, so erhalten die Spielenden einen Code. Dieser wird dann anschließend in der Decodierscheibe eingestellt und die Spielenden erhalten die Zahl der zugehörigen Lösungskarte. Ist der eingegebene Code falsch, so muss das Rätsel aufs Neue gelöst werden. Sollte der eingestellte Code richtig sein, so erhalten die Spielenden die nächsten Rätsel-Karten und damit weitere Lösungshinweise. Wenn alle Rätsel gelöst sind, ist das Spiel vorbei. Über die Anzahl der benutzten Hilfe-Karten und die benötigte Zeit bekommen die Spielenden dann ein Feedback zu ihrer Leistung. [vgl. 12]

Auch hier müssen Rätsel in möglichst kurzer Zeit und mit einer möglichst geringen Anzahl an Hilfe-Karten gelöst werden, um anschließend die gedachten Räume verlassen zu können. Die Rätsel behandeln allerdings Themen in Bezug auf dosimetrische Größen im Strahlenschutz. Die einzelnen Rätsel beinhalten allerdings ein Logikrätsel und eine Multiple-Choice-Frage zu dem behandelten Thema.

5.2 Spielmaterial

Zu dem Spiel gibt es 179 Spielkarten. Darunter 23 Rätsel-Karten, 74 Lösungs-Karten, 13 Multiple-Choice-Fragen und 69 Hilfe-Karten. Diese werden die Spielenden durch das Spiel führen. Zusätzlich gibt es einen Ordner, eine Schwarzlichtlampe, einen Telefonhörer, ein Periodensystem, eine Nuklidkarte, ein Laborbuch, ein Dosimeter beziehungsweise in diesem Fall ein Handzählgerät, ein Lineal und einen Folienstift. Die genauen Bedeutungen der einzelnen Gegenstände für das Spiel werden im Verlauf der Arbeit noch näher erklärt.

5.3 Spielvorbereitung

Zunächst sollten das Laborbuch und das Periodensystem bereit auf dem Tisch liegen. Die restlichen Materialien werden zunächst in der Schachtel gelassen. Anschließend werden die Karten in folgende Stapel aufgeteilt: Rätsel-Karten, Lösungs-Karten, Multiple-Choice-Fragen-Karte und Hilfe-Karten. In dem nächsten Schritt wird überprüft, ob die Lösungskarten in alphabetischer Reihenfolge sortiert sind. Sollten sich Zahlen auf den Lösungskarten befinden, so sind diese nach aufsteigender Zahl auf einen anderen Stapel zu sortiert. Die Rätsel-Karten, Lösungs-Karten und Multiple-Choice-Fragen-Karte werden im Anschluss als Stapel auf den Tisch gelegt.

Als nächstes werden die Hilfe-Karten nach ihren Symbolen sortiert. In jedem Stapel ist nun ein erster Tipp, ein zweiter Tipp und eine Auflösung für das jeweilige Logikrätsel zu finden. Einige Hilfe-Karten sind auf der Rückseite mit Themen belegt. Diese sind nach den Themen zu sortieren und auf dem Tisch zu verteilen. Sie geben Hinweise zu den Multiple-Choice-Fragen, hier existiert zu jeder Frage ein erster Tipp und eine Auflösung.

5.4 Spielablauf

In diesem Spiel gibt es keinen Spielplan. Die Spielenden sind dazu aufgefordert selbst herauszufinden, was es im Spiel zu entdecken gibt und wie die Räume aussehen. Am Anfang stehen der Spielgruppe das Regelheft, das Periodensystem und

5.4 Spielablauf 5

das Laborbuch zur Verfügung. Die Rätsel bestehen aus einem Logikrätsel und einer Multiple-Choice-Frage. Wird ein Rätsel erfolgreich gelöst, so erhalten die Spielenden eine Lösungs-Karte, die im Folgenden zu der nächsten Rätsel-Karte führt. Die restlichen Materialien werden erst benutzt, sobald die Spielenden im Spiel dazu aufgefordert werden.

Ein beispielhafter Ablauf eines Rätsels sieht folgendermaßen aus. Zunächst werden die Rätsel-Karten mit den richtigen Buchstaben aus dem Stapel der Lösungs-Karten genommen. Die Rätsel-Karte, die als nächstes von Bedeutung ist, wird auf der vorherigen Lösungs-Karte geklärt. Anschließend werden die Materialien, die zum Lösen des Rätsels benötigt werden, genommen. Im Zuge dessen wird die dazugehörige Seite im Laborbuch aufgeschlagen. Diese Informationen werden auf der Rätsel-Karte stehen. Zunächst beschreibt die Rätsel-Karte das Logikrätsel genauer. Dieses deutet auf das Thema der nachfolgende Multiple-Choice-Frage hin. Sollten die Spielenden sich für die Multiple-Choice-Frage mit dem richtigen Thema entschieden haben, so ist diese nun zum Lösen des Rätsels zu beantworten. Jede Antwortmöglichkeit der Multiple-Choice-Frage hat eine Zahl zugewiesen bekommen. Die Zahlen der Antwortmöglichkeiten, die die Spielenden für richtig erachten, müssen addiert werden. Daraus ergibt sich für die Spielenden die Ordnungszahl eines Elements. Mit dem Periodensystem kann nun geschaut werden, welches Element sich hinter der Ordnungszahl verbirgt. Auf der Rückseite der Lösungs-Karten sind Elemente des Periodensystems aufgetragen. Aus diesem Grund wird nun die Lösungs-Karte mit dem richtigen Element herausgesucht. Wenn das Rätsel erfolgreich gelöst wurde, leitet die Lösungs-Karte die Spielgruppe zum nächsten Rätsel weiter, indem eine oder mehrere Rätsel-Karten gezogen werden dürfen. In dem Fall, dass die falschen Antwortmöglichkeiten gewählt worden sind, erhalten die Spielenden eine Dosis von einem mSv und das Rätsel muss neu angegangen werden. Die Dosis von einem mSv entspricht in dem Spiel einem Klick auf dem Handzählgerät. Auch die Logikrätsel können zu der Ordnungszahl beitragen. Die Dosis auf dem Dosimeter gibt später in Kombination der Bearbeitungszeit Auskunft über den Spielerfolg. In dem Spiel existieren drei gedachte Räume, die hintereinander verlassen werden müssen. In jedem dieser Räume werden unterschiedliche Gruppen von dosimetrischen kernphysikalischen Größen behandelt. Zudem ändert sich in jedem Raum das Codierungssystem. In dem ersten Raum werden Grundgrößen wie zum Beispiel die Ionen- oder Energiedosis behandelt. Hier sollen die Zahlen der richtigen Antwortmöglichkeiten addiert werden, um mit Hilfe des Periodensystems das zugehörige Element der richtigen Lösungskarte zu bestimmen. In dem zweiten Raum werden die Schutzgrößen behandelt. Hier sind die zugeordneten Zahlen der Antwortmöglichkeiten im Binärsystem angegeben. Wie

bereits in dem ersten Raum, sollen diese zu einer Ordnungszahl addiert werden. In dem letzten Raum werden die Messgrößen behandelt. Die Logikrätsel liefern hierbei die Ordnungszahl des gesuchten Isotops und aus der Summe der zugeordneten Zahlen der Antwortmöglichkeiten der Multiple-Choice-Frage ergibt sich dann die Massenzahl des Isotops. Anschließend wird auf der Nuklidkarte nach der Halbwertszeit des Lösungsnuklids geschaut und so kann die richtige Lösungskarte gefunden werden.

Sollten bei den Rätseln Probleme auftreten, so können Hilfe-Karten verwendet werden. Jedes Logikrätsel und die dazugehörigen Hilfe-Karten haben jeweils ein Symbol zugewiesen bekommen, sodass die Spielenden wissen, welche Hilfe-Karte zu welchem Rätsel gehört. Zu jedem Logikrätsel gibt es jeweils drei Hilfe-Karten. Sollte der erste Tipp benutzt werden, so erhalten die Spielenden eine Dosis von einem mSv. Brauchen die Spielenden dann zusätzlich noch den zweiten Tipp, so erhaltet sie eine Dosis von zwei mSv. Die dritte Hilfe-Karte ist die Auflösungskarte, auf der die Lösung des Rätsels gegeben wird. Wird diese benutzen, so erhalten die Spielenden eine Dosis von drei mSV. Auch bei den Multiple-Choice-Fragen können Probleme auftreten. Daher existieren zu jeder Multiple-Choice-Fragen-Karte auch zwei Hilfe-Karten, diese sind jeweils mit dem behandelnden Thema der Multiple-Choice-Frage gekennzeichnet. Die erste Hilfe-Karte gibt einen Hinweis darauf, welche Antwortmöglichkeit falsch ist. Sollte diese benutzt werden, so erhalten die Spielenden eine Dosis von einem mSv. Die zweite Hilfe-Karte ist die Auflösung der Multiple-Choice-Frage. Dafür erhalten die Spielenden eine Dosis von drei mSv.

5.5 Die Handlung

Die Handlung findet sich in dem Regel- und Ablaufheft des Spiels. Es handelt von einer kostenlosen Besichtigung des ehemaligen Kernkraftwerks in Tschernobyl. Ein Start-Up aus Deutschland bietet diese Besichtigung für eine Gruppe Physik begeisterte Studierende, welche die Spielenden des Exit - Spiels sind. Die Studierenden lassen sich diese Gelegenheit nicht nehmen und melden sich bei dem Unternehmen. Im Folgenden werden sie von dem Unternehmen darüber informiert, eine Aufgabe vor Ort zu erledigen. Trotz dessen willigen sie ein und machen sich auf den Weg nach Tschernobyl. Die versprochene Besichtigung findet wie geplant statt. Doch in dem Kontrollraum des ehemaligen Reaktors Vier lässt der Guide die Gruppe der Studenten alleine und das Spiel beginnt. Mittels Rätsel zum Strahlenschutz sollen die Schlüssel der verschiedenen Räume gefunden werden. Die Gruppe der Studenten muss im Laufe des Spiels durch drei Räume gehen. Zunächst befindet sie sich in dem

ehemaligen Kontrollraum des Reaktors vier. Die Lösungs-Karten und Rätsel-Karten greifen die Handlung immer wieder auf. Es werden in dem Raum Gegenstände wie der Telefonhörer und der Ordner gefunden. Der zweite Raum ist ein Lüftungsraum, der sich direkt neben dem Kontrollraum befindet. Dieser ist schlecht beleuchtet und mit Hilfe einer Öllampe wird der Raum untersucht. Der letzte Raum ist ein Pumpenraum, in dem die Spielenden eine Nuklidkarte finden, um die Halbwertszeiten der gesuchten Isotope zu bestimmen. Schließlich wird die Gruppe von ihrem Guide wieder in Empfang genommen und die Dosis der Spielenden wird geprüft. Das Heft mit den Spielregeln und dem Spielablauf befindet sich im Anhang.

5.6 Vorstellung der einzelnen Rätsel

In dem Spiel gibt es insgesamt 14 Rätsel, die aus je einem Logikrätsel und einer Multiple-Choice-Frage bestehen. Im Folgenden werden diese vorgestellt. Zunächst gibt es eine kleine Zusammenfassung des Handlungsablaufes. Danach werden die Rätsel-Karte und das Rätsel vorgestellt. Anschließend gibt es einen Einblick in die Multiple-Choice-Frage- und Hilfe-Karten.

5.6.1 Rätsel 1: Deterministische Strahlenschäden

Nachdem die Spielende die Einleitung gelesen haben, wurde der Handlungsrahmen des Spiels wie oben beschrieben abgesteckt.

Im Handlungsstrang befinden sich die Spielenden zu diesem Zeitpunkt in dem Kontrollraum des ehemaligen Reaktors Vier im Kernkraftwerk von Tschernobyl. Dabei wird der Kontrollraum erkundet und auf einer Schalttafel entdecken die Spielenden die Rätsel-Karte A. Dies ist der erste Raum von insgesamt drei Räumen und behandelt allgemeine Dosisgrößen wie die Energie-Dosis oder Ionendosis. Die Rätsel-Karte A besagt folgendes: "Ihr findet zunächst auf der Schalttafel vor euch diese vier Graphen. Welcher dieser Graphen beschreibt die Strahlenwirkung bei deterministischen Strahlenschäden? (Seite 1) Tipp: Achtet auf die Zahlen an den Graphen."

Von den Spielenden wird hier nun gefordert, dass sie die Grafik auf der Laborbuchseite 1 aufschlagen. Darauf sind vier Graphen zu erkennen, die unterschiedliche Nummern zugewiesen bekommen haben. Die Graphen sind um die Worte deterministischer Strahlenschaden verteilt. Dieses ist mit dem Symbol eines Kreises versehen, sodass die Spielenden wissen, welche Lösungs-Karte und Rätsel-Karte hierzu gehört.

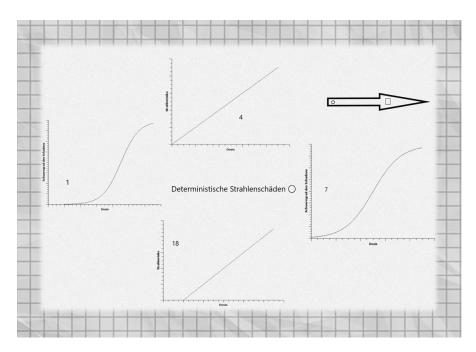


Abbildung 5: Laborbuchseite 1

Das Ziel ist es hierbei nun, den richtigen Graphen zum deterministischen Strahlenschaden zu finden. Die Nummer des Graphen muss sich hier gemerkt werden. Dieses Rätsel soll auf die Multiple-Choice Frage mit dem Thema "deterministischer Strahlenschaden" hindeuten. Falls dabei Probleme auftreten, gibt es die Möglichkeit, Hilfe-Karten zu benutzen. Wie bei jedem anderen Logikrätsel gibt es hierfür drei Hilfe-Karten. Der 1. Tipp, der 2. Tipp und die Auflösung. Diese haben für das erste Rätsel folgende Inhalte:

- 1.Tipp: "Die Dosis wird hierbei gegen den Schweregrad des Schadens aufgetragen."
- 2. Tipp: "Der Verlauf des Graphen ist nicht linear."
- Auflösung: "Der Graph mit der Zahl 1 wird hier gesucht."

Für das Benutzen der Hilfe-Karten erhalten die Spielenden die oben genannte Dosis, die mit der entsprechenden Anzahl an Klicks auf dem Handzählgerät zu vermerken ist. Die zu dem Rätsel zugehörige Multiple-Choice-Frage lautet:

- Bei deterministischen Strahlenschäden treten Erkrankungen ab einem bestimmten Schwellenwert auf. 7
- Mit Hilfe der deterministischen Strahlenschäden, kann ein Krebsrisiko abgeschätzt werden. 6

- Bei deterministischen Strahlenschäden treten Krankheiten mit Bestimmtheit auf. 20
- Deterministische Strahlenschäden sind auch Gewebeschäden. 10

Wie oben beschrieben, hat jede der Antwortmöglichkeiten eine Zahl zugewiesen bekommen. Die Zahlen zu den Antwortmöglichkeiten, welche die Spielenden für richtig erachten, sollen nun addiert werden. In diesem Fall sind die richtigen Antwortmöglichkeiten 7, 20 und 10. Auch zu der Multiple-Choice-Frage gibt es zwei Hilfe-Karten. Mit der gemerkten Eins von dem Graphen, welcher den Deterministischen Schaden beschreibt, ergibt sich die Lösungszahl 38. Diese Ordnungszahl entspricht dem Element Strontium. Daraufhin wird die Lösungskarte mit dem zugehörigen Element herausgesucht. Die Lösungskarte enthält folgenden Inhalt:"Die Untersuchung des Raums geht weiter. Ihr schleicht an der heruntergekommenen Einrichtung vorbei und findet auf dem Boden vor dem großen Periodensystem die Rätsel-Karten L und O." Somit ist das erste Rätsel abgeschlossen und die Spielenden widmen sich dem nächsten Rätsel.

5.6.2 Rätsel 2: Stochastische Schäden

In der fortlaufenden Handlung haben die Spielenden nun vor dem großen Periodensystem in dem Kontrollraum die Lösungskarten L und O gefunden. Die Rätsel-Karte O hat hierbei nichts mit dem zweiten Rätsel zu tun. Sie ist ein Hinweis für das sechste Rätsel, welches auf der Karte durch das Symbol eines Pfeiles nach oben gekennzeichnet ist. Das zweite Rätsel hat zur Kennzeichnung ein Quadrat zugewiesen bekommen, welches sich auch auf der Rätsel-Karte L wieder findet. Die Rätsel-Karte L stellt folgenden Auftrag: Benutzt hier die eben gefundene Abbildung: Legt den Punkt des Zeigers auf den dritten I-Punkt des ersten Wortes. Startet auf Drei Uhr und dreht den Zeiger um pi/2 in mathematisch positive Richtung. Hierbei sind die Zahlen an den Graphen zu vernachlässigen." Wie in der fünften Abbildung zu sehen, ist der Pfeil mit einem kleinen Quadrat gekennzeichnet. Die Spielenden sind nun aufgefordert, den Pfeil auszuschneiden und den Auftrag genau so auszuführen, wie dieser auf es der Rätsel-Karte beschrieben ist. Wurde der Auftrag richtig ausgeführt, so deutet der Pfeil auf den Graphen mit der Nummer 4 hin. Dies ist der Graph für den stochastischen Strahlenschaden. Somit ist im Folgenden die Multiple-Choice-Fragen-Karte mit dem Thema: "stochastische Strahlenschädensu beantworten. Die Hilfe-Karten zu dem Logikrätsel sind:

- 1.Tipp: Bei der Drehung um $\frac{\pi}{2}$ handelt es sich um eine Drehung um 90°. Dieses Rätsel deutet auf die Multiple-Choice-Frage hin.
- 2.Tipp: Die mathematisch positive Drehrichtung ist gegen den Uhrzeigersinn.
- Auflösung: Die gesuchte Größe ist der Stochastische Strahlenschaden.

Die Multiple-Choice-Frage zu dem Rätsel lautet:

- Bei stochastischen Schäden wird das Schadensrisiko betrachtet. 8
- Typische Krankheiten für stochastische Schäden sind Krebs und Erbkrankheiten. 6
- Bei stochastischen Schäden werden alle Dosisbereiche gut von dem linearen Verlauf des Fits beschrieben. 10
- Bei stochastischen Schäden gibt es Theorien die besagen, dass ein bisschen Strahlung gut für den Körper sei. 5

Die richtigen Antwortmöglichkeiten tragen bei dieser Frage die Nummer 8, 6 und 5. Werden diese Zahlen nun addiert, ergibt sich die Ordnungszahl 19. Auch hier gibt es zwei Hilfe-Karten zu den Multiple-Choice-Fragen, die die gleiche Funktion wie jede Hilfe-Karte zu den Multiple-Choice-Fragen haben. Daher werden diese im Folgenden nicht mehr erwähnt. Am Ende des Rätsels ergibt sich die Ordnungszahl 19. Somit ist nun die Lösungskarte mit dem Element Kalium gesucht. Der Inhalt dieser Lösungskarte lautet wie folgt: "Die alte und staubige Bedienungseinheit begeistert euch und ihr untersucht diese genauer. Unter einem der Schaltknöpfe kleben die Rätsel-Karten C und Q."Dies führt die Spielenden nun zum dritten Rätsel.

5.6.3 Rätsel 3: 3 A Regeln

Die Spielenden finden nun die Rätsel-Karten C und Q. Hierbei ist die Rätsel-Karte Q nicht von Bedeutung, sondern genauso wie Rätsel-Karte O, erst für das sechste Rätsel von Bedeutung. Die Spielenden entdecken an der Betonwand des Kontrollraums eine Abfolge an Piktogrammen die auf der sechsten Abbildung zu sehen ist. Im Laborbuch sind die Piktogramme auf der zweiten Seite zu finden, was ihnen auf der Rätsel-Karte Q erklärt wird: "Ihr schaut auf und dabei erregen diese Piktogramme an der alten Betonwand eure Aufmerksamkeit. (Seite 2)"

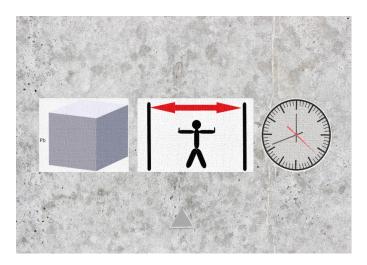


Abbildung 6: Laborbuchseite 2; Bildquelle für den Betonhintergrund: https://pixabay.com/de/photos/beton-wand-grunge-betonwand-zement-1646788/

Die an der Betonwand hängenden Piktogramme deuten auf die Multiple-Choice-Fragen-Karte zu dem Thema "3 A Regeln" hin. Von links beginnend symbolisieren sie jeweils Abschirmung, Abstand halten und Aufenthaltsdauer minimieren. Die Hilfe-Karten sehen folgendermaßen aus:

- 1. Tipp: Dieses Rätsel soll auf die Multiple-Choice-Frage hindeuten.
- 2. Tipp: Das erste Piktogramm von links symbolisiert: Abschirmung verwenden.
- Auflösung: Es soll auf die 3 A Regeln hingedeutet werden.

Die zugehörige Multiple-Choice-Fragen-Karte zu dem Thema hat folgende Antwortmöglichkeiten:

- Die Begrenzung der Exposition und des Risikos soll so niedrig, wie möglich gehalten werden. 20
- Die Begrenzung der Exposition und des Risikos soll so niedrig, wie in sinnvoller Weise möglich, gehalten werden. 32
- Die Begrenzung der Exposition und des Risikos müssen nach Nutzen und Schaden abgewogen werden. 42

• Nur bei medizinisch-notwendigen Strahlungsexpositionen dürfen Dosisgrenzwerte überschritten werden. 12

Die richtigen Antwortmöglichkeiten sind 32, 42 und 12. Werden diese Zahlen nun zusammen gerechnet, so erhalten die Spielenden die Ordnungszahl 86, welche dem Element Radon entspricht.

Die Lösungs-Karte hat folgenden Inhalt: "Bei genauerer Betrachtung der Piktogramme findet ihr hinter diese Rätsel-Karte J und B geklemmt." Die Spielenden werden vor ein neues Rätsel zum Weiterkommen gestellt.

5.6.4 Rätsel 4: Ionendosis

Die Spielenden schauen sich in der Handlung zu diesem Zeitpunkt in dem Kontrollraum um, und finden einen Telefonhörer, welchen sie nun aus der Kiste nehmen
dürfen. Auf Rätsel-Karte J werden sie dazu aufgefordert, den Telefonhörer genauer
zu untersuchen. Die Rätsel-Karte B ist hier noch nicht von Bedeutung, aber dies
wird für das sechste Rätsel interessant.

Der Telefonhörer lässt sich öffnen und auf der Innenseite des Telefonhörerdeckels ist die siebte Abbildung zu finden.

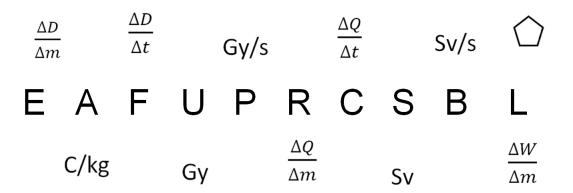


Abbildung 7: Das Rätsel im Deckel des Telefonhörers

Auf Rätsel-Karte J ist der Auftrag "Finde die passende Formel und Einheit zur Ionendosis. Bei richtiger Kombination der Buchstaben ergibt sich das Lösungselement." zu lesen.

Die richtige Formel und Einheit zur Ionendosis sind $\frac{\triangle Q}{\triangle m}$ beziehungsweise C/kg. Somit ergeben sich für die ersten beiden Buchstaben des Lösungswortes R und A.

Die zugehörigen Hilfe-Karten sind:

- 1. Tipp: Der zugehörige Buchstabe steht unter beziehungsweise über der Einheit oder der Formel. Die Formel der Ionendosis ist abhängig von der Ladung Q.
- 2. Tipp: Die Einheit der Ionendosis ist abhängig von Coulomb.
- Auflösung: Die gesuchte Formel lautet: $\frac{\triangle Q}{\triangle m}$. Die gesuchte Einheit ist C/kg.

Das Thema für die Multiple-Choice-Frage ist die "Ionendosis". Die Multiple-Choice-Frage ist hier in Aussagen unterteilt, welche die Spielenden als richtig oder falsch identifizieren sollen. Die Auswahlmöglichkeiten haben für jede Aussage Buchstaben zugewiesen bekommen, die dann für das Lösungswort ausgesucht werden sollen. Mit den Buchstaben aus dem Logikrätsel ergibt sich dann das gesuchte Element. Die Multiple-Choice-Fragen-Karte sieht folgendermaßen aus:

Behauptungen	Richtig	Falsch
1. Luft kann als Referenzmaterial für die freigesetzte Io-	D	Е
nendosis im Körper genommen werden.		
2. Die Ionendosis trägt die historische Einheit Rad.	L	Ι
3. Aus der Ionendosis kann auf die Energiedosis geschlos-	U	O
sen werden.		
4. Die Ionendosis trägt das Formelzeichen I.	N	M

Die Behauptungen eins und drei sind hier korrekt. Damit ergibt sich das Lösungswort: Radium. Die Lösungskarte mit dem genannten Element enthält folgenden Inhalt: "Ihr schreckt auf, da der Bildschirm direkt vor euch aufflackert. Gemeinsam schaut ihr euch das alte Röhrengerät näher an und findet dabei die Rätsel-Karten H und R." Damit werden die Spielenden vor das nächste Rätsel gestellt.

5.6.5 Rätsel 5: Energiedosis

Zu dem aktuellen Zeitpunkt im Handlungsablauf finden die Spielenden mit Rätsel-Karte H in einem Aktenschrank einen Ordner und eine Schwarzlichtlampe. Dieser Ordner ist mit der Schwarzlichtlampe zu untersuchen. Als Tipp wird gesagt, dass die scheinbar leeren Seiten interessant seien. Die Rätsel-Karte R ist für das sechste Rätsel von Bedeutung.

Bei der Untersuchung des Ordners entdecken die Spielenden die achte Abbildung mit einem UV-Stift nachgezogen. Diese Zeichnung soll auf die Energiedosis hindeuten.

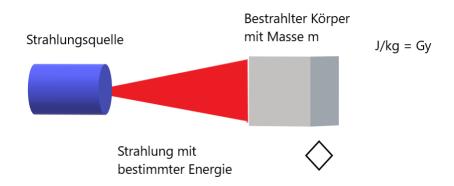


Abbildung 8: Die Abbildung in dem Ordner zu Rätsel 6

Die Hilfe-Karten zu diesem Rätsel sehen folgendermaßen aus:

- 1. Tipp: Die gesuchte Größe entspricht der abgegebenen Energie an die Materie und der Masse der Materie.
- 2. Tipp: Die gesuchte Größe trägt die Einheit Gray.
- Auflösung: Die gesuchte Größe ist die Energiedosis.

Anschließend muss die Multiple-Choice-Fragen-Karte mit dem Thema: "Energiedosis" herausgesucht werden. Diese trägt den folgenden Inhalt:

- Die Energiedosis trägt die historische Einheit Röntgen. 10
- Die Energiedosis gibt Auskunft über die biologische Wirksamkeit des Strahlers.
- Die Energiedosis trägt die Einheit Gray. 5
- Die Energieabgabe ist abhängig von der Art des bestrahlten Stoffes. 21

Die richtigen Antwortmöglichkeiten sind hier die 5 und 21. Damit ergibt sich die Ordnungszahl 26 und das Element Eisen. Die dazugehörige Lösungs-Karte enthält den folgenden Text. "Nach der Untersuchung des Ordners möchtet ihr diesen wieder in den Aktenschrank zurücklegen, dabei fällt die Rätselkarte U heraus." Damit werden die Spielenden nun vor das letzte Rätsel in dem ersten Raum gestellt.

5.6.6 Rätsel 6: Die Kerma

Bei diesem Rätsel werden die gesammelten Rätsel-Karten O,Q,B und R interessant. Die Grafiken auf den Karten sind in Abbildung 9 zu finden.

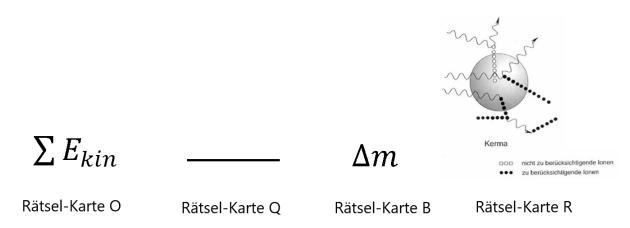


Abbildung 9: Abbildung auf den Rätsel-Karten O,Q,B und R

Der Auftrag hier ist es nun herauszufinden, auf welche dosimetrische Größe die Grafiken hindeuten.

Gesucht wird in diesem Rätsel die Kerma, wobei die Formelstücke zu: $\frac{\sum E_{kin}}{\triangle m}$ zusammengesetzt werden müssen.

Die Hilfe-Karten für das Logikrätsel geben folgende Hinweise:

- 1. Tipp: Die Formel hat folgende Form: $\frac{\sum E_{kin}}{\triangle m}$
- 2. Tipp: Die kinetische Energie die in Materie freigesetzt wird.
- Auflösung: Gesucht Größe ist hier das Kerma.

Die Multiple-Choice-Fragen-Karte, die das Thema Kerma behandelt, hat folgenden Inhalt:

- Die Kerma beschreibt die in dem Volumenelement durch Strahlung freigesetzte Energie pro Volumenelement 42
- Die Kerma beschreibt die in dem Volumenelement abgegebene Strahlung pro Volumenelement. 20

- Die Kerma beschreibt die in dem Volumenelement erzeugte elektrische Ladung pro Volumenelement. 10
- Die Kerma trägt die SI-Einheit Gray. 45

Die richtigen Antwortmöglichkeiten haben die Zahlen 42 und 45 zugewiesen bekommen und ergeben daher die Ordnungszahl 87. Die Ordnungszahl entspricht dem Element Francium. Die dazugehörige Lösungs-Karte hat folgenden Text. "Ihr tretet an das aufgehängte Periodensystem heran und untersucht das Kästchen, auf dem Francium aufgedruckt ist. Durch einen leichten Druck auf das Kästchen lässt sich ein Fach öffnen und ihr findet in diesem einen Schlüssel. Schnell lauft ihr zu der Vordertür, durch die ihr den Raum betreten habt. Doch der Schlüssel passt nicht. Ihr schaut euch panikerfüllt um und findet eine zweite Tür. Hier passt der Schlüssel nun. Mit dem Periodensystem in der Hand betretet ihr einen Lüftungsraum, der kaum beleuchtet ist. In der Mitte des Raumes brennt eine kleine Öllampe. In dem schummrigen Licht der Lampe erkennt ihr ein Labyrinth an Lüftungsrohren und die gleichen kalten Betonwände die euch schon den ganzen Aufenthalt begleiten. Unter der Lampe findet ihr die Rätsel-Karten S und X."Die Spielenden verlassen nun den Kontrollraum und können den nächsten Raum betreten.

5.6.7 Rätsel 7: Organ-Energiedosis

Im zweiten Raum handelt es sich um einen Lüftungsraum mit schwacher Beleuchtung. In diesem Raum werden die Schutzgrößen behandelt und die Antwortmöglichkeiten haben Zahlen aus dem Binärsystem zugewiesen bekommen. Die Rätsel-Karte E besagt: "Ihr nehmt die Öllampe auf und fangt gemeinsam an den Raum zu untersuchen. Dabei entdeckt ihr an einem Lüftungsventil ein Bilderrätsel hängen (Seite 3). Auf welche dosimetrische Größe deutet das Bilderrätsel hin?" Das Bilderrätsel in Abbildung 10 ist für die Spielenden auf der dritten Seite des Laborbuches zu finden.

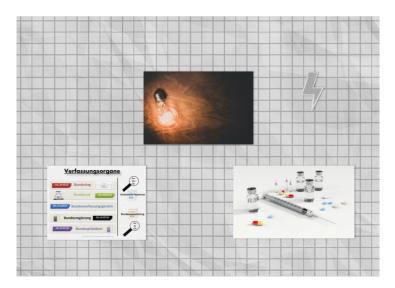


Abbildung 10: Laborbuchseite 3

Die Bilder deuten auf ein zusammengesetztes Wort hin, welches aus drei Teilen besteht. Von Links nach Rechts symbolisieren die Bilder die Begriffe Organ, Energie und Dosis. Insgesamt ergibt sich dann für das Thema der Multiple-Choice-Fragen-Karte das Wort: "Organ-Energiedosis".

Da die Antwortmöglichkeiten der Multiple-Choice-Fragen-Karte in diesem Raum im Binärsystem angegeben sind, gibt es hier noch eine zusätzliche Hilfe-Karte, wodurch die Spielende eine Dosis von drei mSv erhalten. Die Hilfe-Karten für dieses Rätsel geben folgende Hinweise:

- 1. Tipp: Jedes Bild soll ein Wortteil des zusammengesetzten Wortes sein, welches gesucht wird.
- 2. Tipp: Das dritte Bild deutet auf den Begriff Dosis hin.
- Auflösung: Das gesuchte Wort lautet: Organ-Emergiedosis
- Zahlen im Binärsystem: Eine Zahl im Binärsystem setzt sich folgendermaßen zusammen:

Es gelten im Binärsystem folgende Rechenregeln: $0+0=0,\ 1+0=1,\ 0+1=0,$

Ihr erhaltet eine Dosis vom 3 mSv.

Die Multiple-Choice-Fragen-Karten sehen folgendermaßen aus:

- Der Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt Unterschiede in der biologischen Wirksamkeit verschiedener Strahlungsqualitäten in Bezug auf deterministische Schäden. 01000
- Der Strahlungswichtungsfaktor berücksichtigt die kinetischen Energie der Teilchen. 00011
- Der Strahlungswichtungsfaktor bezieht sich auf das primäre Strahlungsfeld.
 00110
- Die Organ-Energiedosis trägt die Einheit Sievert. 00010

Die richtigen Antwortmöglichkeiten tragen die Binärzahlen 00011 und 00110. Welche sich zu 01001 addieren. Die entspricht der Dezimalzahl Neun und somit dem Element Fluor. Auf der dazugehörigen Lösungskarte findet sich dann folgender Text:"Ihr schaut die kalten Betonwände entlang und ein schrilles Pfeifen erregt eure Aufmerksamkeit. Durch ein kleines Loch im Rohr entweicht Luft. Als Gruppe wollt ihr das genauer untersuchen und entdeckt auf der Rückseite des Rohres die Rätselkarten F und G." Somit werden die Spielenden zu dem achten Rätsel geführt.

5.6.8 Rätsel 8: Organ-Äquivalentdosis

In der Handlung werden die Spielenden dazu aufgefordert, die vierte Seite des Laborbuches zu öffnen. Auf dieser Seite sind Formelzeichen aufgetragen, welche auf der Rückseite Buchstaben zugewiesen bekommen haben. Dies ist in der zehnten Abbildung zu sehen.

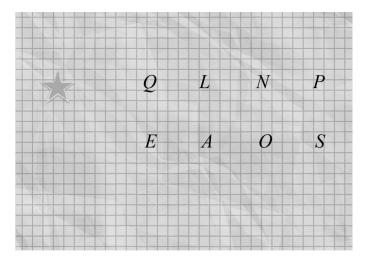


Abbildung 11: Vorderseite der Laborbuchseite 4

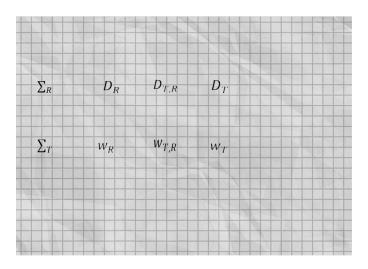


Abbildung 12: Rückseite der Laborbuchseite 4

Der Auftrag auf Rätsel-Karte F ist bei diesem Rätsel die Formel für die effektive Dosis zu finden und sich die Buchstaben der passenden Formelteile herauszusuchen. Mit den Antwortmöglichkeiten der Multiple-Choice-Fragen-Karten, die ebenfalls Buchstaben zugewiesen bekommen haben, ergibt sich dann ein Lösungswort. Die Rätsel-Karte G wird erst wieder für das Rätsel 10 wichtig.

Die richtige Formel für die effektive Dosis ist : $H_T = \sum_R \cdot w_R \cdot D_{T,R}$. Aus diesem Grund sind die Buchstaben P, O und L aus dem Logikrätsel für das Lösungswort heraus zu schreiben.

Die Hilfe-Karten zu dem Logikrätsel haben folgenden Inhalt:

• 1. Tipp: Die Organ-Energiedosis ist abhängig von der Strahlungsart R und dem Organ T.

- 2. Tipp: Hierbei können verschiedene Strahlungsarten R über die Summe betrachtet werden.
- \bullet Auflösung: Die gesuchte Formel lautet: $\sum_R \cdot w_R \cdot D_{T,R}$

Die Multiple-Choice-Fragen-Karte zum Thema Organ-Äquivalentdosis hat folgende Antwortmöglichkeiten:

Behauptungen	Richtig	Falsch
1. Die Organ-Äquivalentdosis berücksichtigt bei einer	M	О
Strahlungsart mehrere Organe.		
2. Die Organ-Äquivalentdosis berücksichtigt bei einer	K	N
Strahlungsart ein Organ.		
3. Die Organ-Äquivalentdosis berücksichtigt alle Strah-	I	Е
lungsarten, die auf das Organ treffen und die jeweiligen		
Organe.		
4. Die Organ-Äquivalentdosis trägt die Einheit Sievert.	U	O
5. Die Organ-Äquivalentdosis ist die Energiedosis in 0,07	M	N
mm Gewebetiefe und wird über die gesamte Haut gemit-		
telt.		

Die Antwortmöglichkeiten 3, 4 und 5 sind hier richtig. Werden die Buchstaben aus dem Logikrätsel und der Multiple-Choice-Frage nun zusammengesetzt, so erhalten die Spielenden das Lösungswort Polonium. Die dazugehörige Lösungs-Karte gibt folgende Informationen preis: "Mit der Öllampe sucht ihr den dunklen Raum weiter ab. Auf der großen Nuklidkarte findet ihr auf dem Kästchen von Polonium die Rätsel-Karten E und V, die scheinbar dort aufgeklebt worden sind." Somit ist das Rätsel zur Organ-Äquivalentdosis abgeschlossen und es wird sich dem nächsten Rätsel zugewendet.

5.6.9 Rätsel 9: Effektive Dosis

Die Spielenden werden nun dazu aufgefordert, die fünfte Seite in dem Laborbuch aufzuschlagen. Dabei finden sie vier Streifen auf denen sich jeweils auf Vorderseite und Rückseite Buchstaben befinden. Der Auftrag ist es nun, die Streifen auszuschneiden und folgenden Befehl genau auszuführen: "Zunächst legt A auf A, B auf B und C auf C deckungsgleich. Dann D auf D, E auf E und H auf H. Schließlich I auf I und J auf J. " Dieser findet sich auf Rästel-Karte E wieder. Der Rätsel-Karte V sollte hier noch keine Beachtung geschenkt werden, da diese erst für das zehnte Rätsel relevant wird.

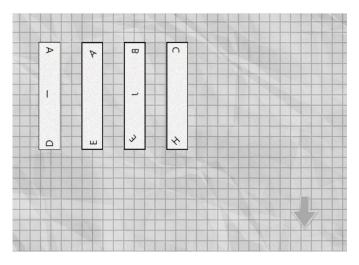


Abbildung 13: Vorderseite zu Laborbuchseite 5

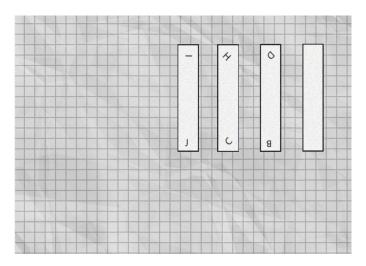


Abbildung 14: Rückseite zu Laborbuchseite 5

Werden die Aufträge der Rätsel-Karte E genau ausgeführt, so ist zunächst ein Summenzeichen, dann ein W und zuletzt ein H zu erkennen. Die sich ergebende Formel sieht folgendermaßen aus: $\sum w \cdot H$. Dies soll die Formel der Effektiven Dosis symbolisieren, welches das Thema der Multiple-Choice-Frage zu dem Rätsel ist. Die Hilfe-Karten zu diesem Rätsel sehen folgendermaßen aus:

- 1. Tipp: Reißt die Streifen aus dem Buch. Auf Vorder- und Rückseite der Streifen stehen Buchstaben. Befolgt die Anweisung auf der Rätselkarte E.
- 2. Tipp: Die gesuchte Formel lautet: $\sum_T w_T \cdot H_T$
- Auflösung: Die gesuchte Größe ist die effektive Dosis.

Die dazugehörige Multiple-Choice-Fragen-Karte hat folgende Antwortmöglichkeiten:

- Die effektive Dosis wichtet die Organdosen entsprechend der Empfindlichkeit für stochastische Schäden. 00010
- Die effektive Dosis ist unmittelbar messbar. 00001
- Die effektive Dosis berücksichtigt alle von der Strahlung betroffenen Organe. 00010
- Die Gewebewichtungsfaktoren wichten das Todesfallrisiko und die Wahrscheinlichkeit an Krankheiten durch Strahlungsfolgen zu erkranken. 00011

Die Antwortmöglichkeiten mit den zahlen 00010, 00010 und 00011 sind richtig. Damit ergibt sich die Binärzahl 00111 als Lösung. Dies entspricht der Dezimalzahl Sieben und dem Element Stickstoff auf dem Periodensystem. Die Lösungs-Karte, welche Stickstoff auf der Rückseite trägt, hat folgenden Inhalt: "So langsam erwächst in euch Unruhe. Ihr wollt den Raum unbedingt verlassen. Da erblickt ihr in dem schwachen Licht der Öllampe etwas an einem der Lüftungsrohre hängen. Ihr nähert euch vorsichtig dem Gegenstand. Bei näherer Betrachtung stellt sich heraus, dass es sich hierbei um einen Schlüssel handelt. Doch dieser ist mit einem Schloss und einer Kette gesichert. Anstelle eines Zahlencodes können hier sechs Buchstaben eingestellt werden. An der Kette hängt die Rätsel-Karte P und somit auch der Weg zum gesuchten Wort." Die Lösung des nächsten Rätsels ergibt das gesuchte Lösungswort.

5.6.10 Rätsel 10: Körperäquivalentdosis

Um nun das gesuchte Wort zu finden, soll ein Kreuzworträtsel gelöst werden, welches sich auf der sechsten Seite des Laborbuches befindet (Abbildung 15).

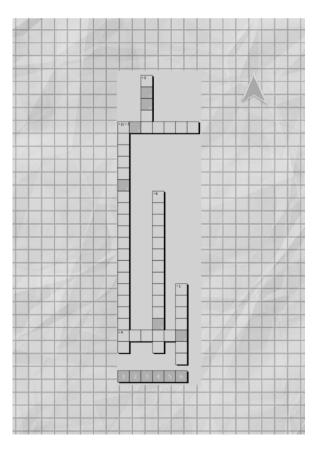


Abbildung 15: Laborbuchseite 6

Es behandelt die Schutzgrößen als eine kleine Zusammenfassung. Bei diesem Rätsel gibt es dieses mal keine Multiple-Choice-Fragen-Karte. Die einzelnen Aufgaben des Kreuzworträtsels sind:

Aufgabe	Lösung
Senkrecht:	
1. Die Einheit der Äquivalentdosis	Sievert
2. Derfaktor ist Teil der Definition der Organ-	Strahlungs-Wichtungs
Äquivalentdosis.	
3. Die gesamte Organ-(Äquivalentdosis) ergibt sich als	Äquivalentdosis
Summe der einzelnen Beiträge der beteiligten Strah-	
lungsqualitäten.	
Waagerecht:	
4. Bei der effektiven Dosis ist neben dem Strahlungs-	Gewebe
Wichtungsfaktor auch derWichtungsfaktor von Be-	
deutung.	
5. Die Einheit der effektiven Dosis	Sievert
6. Die effektive Dosis bietet die Möglichkeit, über Fest-	Stochastischen
legung von Grenzwerten das Risiko für Auslösung von	
Strahlenschäden zu begrenzen.	

Das Lösungswort für das Schloss ist Helium. Die Hilfe-Karten geben folgende Hinweise um das Lösungswort heraus zu finden:

- 1. Tipp: 1: Si..., 2: St...-..., 3:Äq..., 4:Ge..., 5:Si...,6: St...
- Auflösung: Die richtigen Antworten: 1: Sievert, 2: Strahlungs-Wichtungs, 3: Äquivalentdosis, 4: Gewebe, 5: Sievert, 6: Stochastischen

Werden die richtigen Worte in das Kreuzworträtsel eingetragen, so ergibt sich das Lösungswort Helium. Die entsprechende Lösungs-Karte beinhaltet folgenden Text: "Das eingestellte Wort ist richtig und ihr könnt den Schlüssel an euch nehmen. Mit diesem lauft ihr zu der zweiten, verschlossenen Tür des Raumes. Hier passt der Schlüssel auf Anhieb. Nun betretet ihr einen Pumpenraum. Vereinzelt fallen euch Pfützen und tropfende Wasserleitungen auf. Zum Glück habt ihr eure Öllampe mitgenommen und könnt so den unbeleuchteten Raum untersuchen. Durch die Freude, den dritten Raum betreten zu können, verliert ihr euer Periodensystem. Hier schaut ihr euch direkt um und entdeckt über einer tropfenden Wasserleitung die Rätsel-Karten Z, K und eine Nuklidkarte." Die Spielenden betreten nun den letzten Raum.

5.6.11 Rätsel 11: Qualitätsfaktor

In diesem Raum werden die Messgrößen behandelt und das Codiereungssystem ändert sich. Die Spielenden können sich nun die Nuklidkarte aus der Schachtel nehmen. Das Logikrätsel wird hierbei die Protonenanzahl des Lösungsnuklids liefern und aus

der Multiple-Choice-Frage ergibt sich die Massenzahl. Anschließend soll die Halbwertszeit des Nuklids herausgefunden werden, da auf der Rückseite der Lösungskarten die Halbwertszeiten der möglichen Lösungen zu finden sind. Dies erklärt die Rätsel-Karte Z.

Das Logikrätsel ist hier ein kleines Rechenspiel. Auf der Rätsel-Karte K befindet sich folgender Text: "Auf dieser Karte befindet sich ein Rechenrätsel zum Thema Qualtitätsfaktoren: Nehme Alpha und addiere das Doppelte von n(unbekannt). Multipliziere dies mit dem Doppelten von Beta. Addiere anschließen das Doppelte von Beta. Das Ergebnis gibt euch die Ordnungszahl des gesuchten Elements."

Mit Alpha, n(unbekannt) und Beta sind die jeweiligen Qualitätsfaktoren der Alpha-,Beta- und Neutronenstrahlung mit unbekannter Energie gemeint. Die gesuchte Ordnungszahl ist 82 und entspricht dem Element Blei. Die Hilfe-Karten zu diesem Rechenspiel sehen folgendermaßen aus:

- 1. Tipp: Die Qualitätsfaktoren werden zur Berechnung der Mess-Äquivalenzdosis verwendet.
- 2. Tipp: Für die Qualitätsfaktoren ergeben sich folgende Faktoren Alpha=20 und Beta=1, n(unbekannter Energie) = 10.
- Auflösung: Die gesuchte Ordnungszahl ist 82.

Die Multiple-Choice-Karte mit dem Thema "Qualitätsfaktor" auf der Rückseite, hat folgende Antwortmöglichkeiten:

- Der Qualitätsfaktor hängt nicht von der kinetisch Energie der Strahlungspartikel ab. 95
- Der Qualitätsfaktor ist abhängig von den Ionisationen pro Wegstrecke der Strahlungspartikel. 100
- Der Qualitätsfaktor wird zur Berechnung der Organdosis verwendet. 101
- Der Qualitätsfaktor wird zur Bewertung der biologischen Wirkung bezüglich stochastischer Strahlenwirkung verwendet. 109

Die richtigen Antwortmöglichkeiten haben die Zahlen 100 und 109 zugewiesen bekommen. Damit ergibt sich als Massenzahl 209 und insgesamt das Nuklid Pb-209 mit einer Halbwertszeit von 3,253 h. Die damit verbundene Lösungskarte hat folgenden Text: "Die ungemütliche klammkalte Luft des zugigen Pumpenraums macht euch zu schaffen. Auf der Suche nach weiteren Hinweisen müsst ihr einer großen Pfütze ausweichen und steuert dabei direkt auf eine große und rostige Pumpe zu.

Am Fuße dieser entdeckt ihr die Rätselkarte M und T." Damit ist das erste Rätsel in dem letzten Raum gelöst und die Spielende werden vor das nächste Rätsel gestellt.

5.6.12 Rätsel 12: Mess-Äquivalentdosis

Das gesuchte Thema der Multiple-Choice-Frage wird auf der Rätsel-Karte M durch ein Worträtsel beschrieben: "Auch hier gilt Alpha = 20, Beta = 1 und n(unbekannter Energie) = 10. Verrechne dies mit Gray und du erhältst deine gesuchte Größe." Dabei sollen die Spielenden auf die Mess-Äquivalentdosis schließen. Auf der Rätsel-Karte T befindet sich ein Zeichenrätsel (Abbildung 16). Der Auftrag auf der Rätsel-Karte T lautet: "Für das richtige Element: Verbinde identische Paare geradewegs! Malt danach die Haken aus."

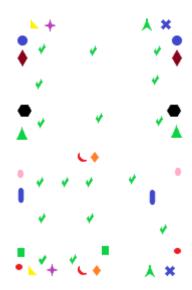


Abbildung 16: Das Zeichenrätsel auf der Rätsel-Karte T

Hierbei wird durch richtiges Befolgen der Anweisungen, die zweistellige Ordnungszahl 90 deutlich, welche dem Element Thorium zugeordnet wird.

Die Hilfe-Karten hierbei geben jeweils einen Tipp für jede Rätsel-Karte und haben somit folgende Form:

• 1. Tipp:

Für Rätselkarte M: Hier wird auf die nächste Multiplechoice-Frage hingedeutet.

Für Rätselkarte T: Befolgt genau die Anweisungen auf der Karte. Erkennt ihr die Ordnungszahl?

• 2. Tipp:

Für Rätselkarte M: Der erste Satz deutet auf den Qualitätsfaktor hin und der zweite Satz soll auf die Energiedosis hindeuten.

Für Rätselkarte T: Verbindet jedes Symbol-Paar das in Form und Farbe übereinstimmt. Malt anschließend die Flächen aus, in denen sich grüne Haken befinden. Es sollte dann eine zweistellige Ordnungszahl sichtbar werden.

• Auflösung:

Für Rätselkarte M: Die gesuchte Größe ist die Mess-Äquivalentdosis.

Für Rätselkarte T: Die gesuchte Ordnungszahl ist die 90.

Damit die Spielenden die vollständige Information zu dem Nuklid erhalten, muss die Multiple-Choice-Fragen-Karte zu dem Thema Mess-Äquivalentdosis richtig beantwortet werden. Hierbei gibt es folgende Antwortmöglichkeiten:

- Die biologische Strahlungswirkung nimmt mit größerer Ionisierungsdichte zu.
 122
- Die Mess-Äquivalentdosis trägt die historische Einheit Rem. 110
- Die Mess-Äquivalenzdosis der Ortsdosis wird in Anwesenheit eines körperähnlichen Phantoms gemessen, um das Risiko der Strahlenexposition abzuschätzen.
 114
- Bei der Mess-Äquivalenzdosis macht es keinen Unterschied, ob ein Phantom anwesend ist oder nicht. 120

Die richtigen Antwortmöglichkeiten bei dieser Multiple-Choice-Frage haben die Nummern 110 und 122 zugewiesen bekommen. Somit ergibt sich das Nuklid Th-232, welches eine Halbwertszeit von $1,405 \cdot 10^{10}$ a hat. Die dazugehörige Lösungs-Karte enthält folgenden Inhalt: "So langsam bekommt ihr es mit der Angst zu tun und möchtet auch den kalten und feuchten Pumpenraum verlassen. Um gegen die steigende Panik anzukämpfen, atmet ihr tief durch. Auf dem steinigen Boden vor euch findet ihr die Rätsel-Karte I." Somit werden die Spielenden zum vorletzten Rätsel geleitet.

5.6.13 Rätsel 13: Ortsdosis und Personendosis

Im Folgenden werden die Spielenden nun dazu aufgefordert die siebte Seite des Laborbuches aufzuschlagen und erblicken dabei die Abbildung 17.

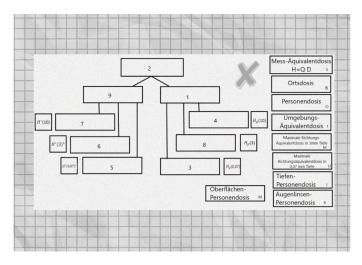


Abbildung 17: Laborbuchseite 7[vgl. 18]

Das Ziel ist hier, die Kästchen auszuschneiden und an die richtige Stelle im Schema zu legen. Die Kästchen haben in ihrer unteren rechten Ecke einen Buchstaben beziehungsweise eine Zahl zugewiesen bekommen. Zusammen mit den Zahlen im Schema, ergibt sich dann ein Lösungsnuklid. Die Zahlen im Schema geben die Position des Buchstaben beziehungsweise der Zahl in dem Lösungsnuklid an. In diesem Rätsel gibt es keine Multiple-Choice-Frage.

Die Hilfe-Karten sehen für dieses Rätsel folgendermaßen aus:

- 1. Tipp: Die Zahlen entsprechen der Position der Buchstaben im Lösungswort.
- 2 .Tipp: Die Mess-Äquivalentgröße ist die Grundgröße, auf der Ortsdosis und Personendosis basieren.
- Auflösung:

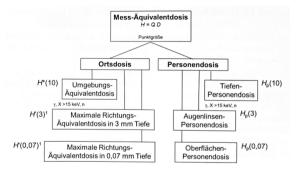


Abbildung 18: Die Auflösungs-Karte zu Rätsel 13 [18]

Werden die Kästchen richtig in das Schema gelegt, so erhalten die Spielende das Lösungswort: "Osmium-186". Auf der Lösungskarte findet sich dann folgender Text: "Ihr könnt das Ziel schon vor euch sehen. Der süße Duft der Freiheit lässt sich schon erahnen. Die letzte Tür wartet auf euch, um überwunden zu werden. Doch diese ist durch ein Schloss gesichert, in das ihr eine Halbwertzeit eines bestimmten Nuklids eingeben könnt. Um an die Halbwertszeit zu kommen, müsst ihr das Rätsel zur Rätselkarte N lösen." So werden die Spielenden zu dem letzten Rätsel des Spieles geführt.

5.6.14 Rätsel 14: Natürliche Radioaktivität

Die Spielenden werden durch die Rätsel-Karte N dazu aufgefordert, die letzte Seite des Laborbuches zu öffnen. Dort finden sie die Abbildung 19.

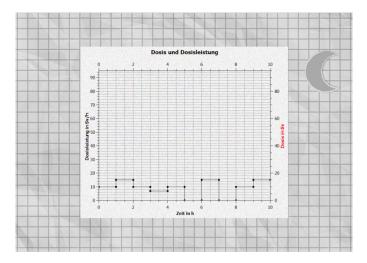


Abbildung 19: Laborbuchseite 9

Diese Abbildung zeigt einen Graphen, welcher den Verlauf einer Dosisleistung über eine gewisse Zeit darstellt. Die Aufgabe ist hier nun, die Enddosis zu bestimmen, welche der gesuchten Ordnungszahl des Lösungsnuklids entspricht. Die Hilfe-Karten geben folgende Hinweise:

- 1 .Tipp: Beträgt die Dosisleitung über 3 Stunden 1 Sv/h, so erhält die exponierte Person eine Dosis von 3 Sv.
- 2. Tipp: Die gesuchte Ordnungszahl ist die eines der relevantesten Elemente im Strahlenschutz.

• Auflösung: Die Enddosis beträgt 92 Sv.

Die Ordnungszahl des Elements muss sich nun gemerkt werden. Als Hinweis wird auf der Rätsel-Karte N vermerkt, dass das Thema der Multiple-Choice-Karte die natürliche Radioaktivität ist. Die Auswahlmöglichkeiten der Multiple-Choice-Karte sind:

- In den Polregionen sind geringere Ortsdosisleistungen als am Äquator zu erwarten. 110
- Primordiale Radionuklide tragen zur terrestrischen Strahlenexposition bei. 113
- Die gasförmigen Radionuklide des Radons bilden den größten Teil der Strahlenbelastung durch Inhalation. 125
- Calcium bildet den größten Teil der Strahlungsexposition durch Inkorporation über Nahrungsmittel. 112

Richtig sind hierbei die Antwortmöglichkeiten 125 und 113. Somit ergibt sich das Lösungsnuklid Uran-238. Auf der Lösungs-Karte ist dann folgendes zu lesen: "Die eingegebene Halbwertszeit lässt das Schloss öffnen. Das Klicken des sich öffnenden Schlosses wird euch in Zukunft immer an das Gefühl von Freiheit erinnern. Als ihr die Tür öffnet, nimmt euch der Guide wieder in Empfang. Ihr seid unfreiwillige Tester des ersten Escape-rooms in Tschernobyl geworden. Wertet nun eure Dosimeter aus, um zu schauen, wie gut ihr euch geschlagen habt." Die Spielenden können den letzten Raum verlassen. Die Leistung kann anhand der Tabellen fünf und sechs abgelesen werden.

Tabelle 5: Ergebnistablle mit benötigter Zeit und erhaltener Dosis

	$< 10 \mathrm{mSv}$	$<30 \mathrm{mSv}$	<50 mSv	$< 70 \mathrm{mSv}$	$> 100 \mathrm{mSv}$
<75 min	11 Punkte	9 Punkte	7 Punkte	5 Punkte	3 Punkte
<90 min	10 Punkte	8 Punkte	6 Punkte	4 Punkte	2 Punkte
>90 min	9 Punkte	7 Punkte	5 Punkte	3 Punkte	1 Punkt

1-3 Punkte Ihr solltet euch dringend nochmal die Unterlagen zum praktischen Strahlenschutz anschauen. 100 mSv ist der untere Schätzwert des Schwellenwertes für Ungeboren. 4-6 Punkte Ihr solltet die Unterlagen zum praktischen Strahlenschutz nochmal sorgfältig lesen. 7-9 Punkte Ihr solltet euch noch einmal einige Sachen für den praktischen Strahlenschutz anschauen. 20 mSv ist der Grenzwert der jährlichen Strahlenexposition für beruflich strahlenexponierte Personen in Deutschland. Ihr seid gut für den praktischen Strahlenschutz gewappnet. 10-11 Punkte Im Bereich von 10-20mSv liegt die Dosisbelastung durch eine Ganzkörper-Computertomographie.

Tabelle 6: Bewertungstabelle der erreichten Punktzahl

5.6.15 Mögliche Lösungen der Rätsel

Sollten die Spielenden im Laufe des Spiels die falschen Antwortmöglichkeiten wählen, so werden sie Lösungs-Karten mit folgendem Text ziehen: "Das war leider die falsche Antwort! Ihr setzt euch unfreiwillig einem starken Strahlungsfeld aus und erhaltet eine Dosis von 1 mSv." Aus der Kombination der falschen Antwortmöglichkeiten sind es nun 62 Lösungs-Karten mit dem eben genannten Text geworden. Zu den Worträtseln gibt es jeweils nur eine Lösungs-Karte, da die Kombination der Buchstaben auch nur ein Element ergeben kann. Die Elemente und Nuklide, die zu einer falsche Antwort gehören sind in der Tabelle Fünf aufgeführt. Hierbei sind die jeweiligen Protonenzahlen ebenfalls aufgeführt, da sich diese als Ergebnis der kombinierten Antwortmöglichkeiten ergeben.

Tabelle 7: Die möglichen Antworten der einzelnen Rätsel P ist die Anzahl der Protonen im Kern für das jeweilige Element.

Rätsel	Richtige Lösung	Mögliche Lösungen
1	Strontium(P=38)	Silicium(P=14), Cobalt(P=27), Ar-
	,	gon(P=18), $Nickel(P=28)$, $Chlor(P=17)$, $Gal-$
		$\lim_{N \to \infty} (P=31)$, Selen $(P=34)$, Rubidium $(P=37)$,
		Chrom(P=24),Scandium(P=21), Zink(P=30), Cal-
		cium(P=20), Zirconium(P=40), Vanadium(P=23),
		Technetium($P=43$), Rhodium($P=45$), Brom ($P=35$),
		Ruthenium(P=44), Cadium(P=48), Antimon(P=51),
		Xenon(P=54), Niob(P=41)
2	Kalium(P=19)	Silicium(P=14), Argon, Aluminium, Schwefel, Natrium,
		Chrom, Scandium, Vanadium
3	Radon(P=86)	Tellur(P=52), Samarium(P=62), Germanium(P=32),
		Wolfram(P=74), $Plutonium(P=94)$, $Gadolini-$
		um(P=64), Ruthenium(P=44)
4	Radium(P=88)	Worträtsel
5	Eisen(P=26)	Aluminium (P=13), Phosphor(P=15), Gallium(P=31),
		Sauerstoff (P=8), Chrom (P=24), Argon(P=18), Kup-
		fer(P=29), Selen (P=34), Krypton(P=36)
6	Francium(P=87)	Samarium($P=62$), Tellur($P=52$), Zink($P=30$), Terbi-
		um(P=65), Caesium(P=55), Hafnium(P=72), Rhendi-
		um(P=75), Berkelium(P=97), Bohrium(P=107)
7	Fluor(P=9)	Natrium(P=11), $Silicium(P=14)$, $Neon(P=10)$,
		Bor(P=5), $Sauerstoff(P=8)$, $Chlor(P=17)$, Alumi-
		nium(P=13), Schwefel(P=16)
8	Polonium	Worträtsel
	(P=88)	
9	Stickstoff(P=7)	Lithium(P=3), Beryllium(P=4), Bor(P=5), Kohlen-
10	III II (D. a)	stoff(P=6)
10	Helium(P=2)	Kreuzworträtsel
11	Pb-209 (3,253 h)	Pb-195 (15 m), Pb-196(36,4 m), Pb-204(67,2 m), Pb-
10	Th 929 (1 405	201(9,4 h), Pb-210 (22,3 a)
12	Th-232 $(1,405 \cdot 10^{10} \text{ s})$	Th-224(1,04 s), Th-236(375 m), Th-230(7, $54 \cdot 10^4 a$, Th-
19	$10^{10}a$)	234(24,10 d)
13	$U-238 (4,468 \cdot 10^{9} \text{ c})$	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
	$10^9 a$)	(59 ms), U-237 (6,75 d)

6 Didaktische Analyse des erstellten Exit-Spiels

Aus Mangel an Quelle werde ich anhand des Schemas für einen Stundenentwurf der TU-Berlin für das Fach Deutsch, eine didaktische Analyse des erstellten Exit-Spiels durchführen. Im Fokus stehen hierbei die Unterrichtsvoraussetzungen, Sachanalyse und Didaktische Analyse und die methodische Analyse. Dieses Schema ist im Anhang zu finden.

6.1 Unterrichtsvoraussetzungen

6.1.1 Allgemeine Unterrichtsvoraussetzung

Die Lerngruppe sind Physik Studierende, Chemie Studierende und Fächerübergreifender Bachelor Studierende, die als Erst- oder Zweitfach Physik gewählt haben. Die Lerngruppe befindet sich mindestens im vierten Bachelorsemester und kann sich bis zu Studierende auf Masterniveau ausweiten. Die Lerngruppe würde ich hierbei als engagiert betrachten, da sie zu der Vorlesung erscheinen und schon mindestens zwei Jahre Erfahrung im Studium mitbringen. Die Begeisterungsfähigkeit der Studierende für diese Methode würde ich als stark schwankend einschätzen. Meine Erwartung wäre es, dass die Fächerübergreifenden Bachelor Studierenden diese Methode eher akzeptieren als die Physik Studierenden, da sie möglicherweise später in den Beruf als Lehrkraft einsteigen und somit einige Ideen, oder Inspirationen für den eigenen Unterricht mitnehmen könnten. Diese Einschätzung spiegelt sich auch in Abbildung 20 wider. Hierbei gibt ein Fächerübergreifender Bachelorstudent in einem Evaluationsbogen der Leibniz Universität Hannover zum Flipped Classroom in dem Fach Experimentalphysik IV folgende Antwort:

- die Differenzierung zwischen Frich physikein und Fubu's. Endlich wurde auf die besondern methodischen und fahlichen Belange der engehanden hehrer worningtig eingegeungen. Man fühlb 1ich nicht under einerwinschd und fehl am Mah!!!

- Die Möglichkeit zum Nownload der Videos, sehr sirvvoll zur Vorberetenz euf die Prafery am Ende des Somestes!

- die methodische Vielfold in den Prasenzyhasan. Siete Renbaushofte für meinen eigenen Unterscholspier

Abbildung 20: Eine Antwort eines Fächerübergreifenden Bachelorstudenten zum Flipped Classrrom an der Leibniz Universität Hannover im Sommersemester 2019

Auf der Seite der Physik und Chemie Studierenden würde ich mit weniger Akzep-

tanz des Spiels rechnen, da dies möglicherweise für die Studierenden zu wenig mit Physik zu tun hat und sehr an den Unterricht der Schule erinnern könnte.

6.1.2 Spezielle Unterrichtsvoraussetzungen

Die Studierenden sollten für das Exit-Spiel solide Kenntnisse im Strahlenschutz haben. Die Motivation, diese Methode durchzuführen, kann zum einen der Trainingseffekt und Wiederholungseffekt sein. Zum anderen stellt das Spiel eine große Abwechselung zum universitären Alltag dar und könnte somit für die Studierenden interessant werden. Hierbei soll das Exit-Spiel das Interesse durch das Spiel selbst hervorrufen. Im Speziellen ist dabei die Beschaffenheit des Spielkonzeptes und der Handlungsrahmen zu nennen, im engeren Sinne ist hier das entkommen aus einem Kontrollraum des ehemaligen Kernkraftwerkes zu nennen. Die Methodische Fertigkeit der Studierenden ist hier schwer einzuschätzen, dennoch kann ich aus eigener Erfahrung sagen, dass die methodische Vielfalt in der Universität in den Fächern Physik und Mathematik sehr gering ist. Daher würde ich erwarten, dass die Studierenden eine kleine Eingewöhnungszeit in dieses Methode benötigen.

6.2 Sachanalyse und Didaktische Analyse

Die inhaltliche Struktur des Spiels basiert wie bereits erklärt auf der Vorlesung im Wintersemester 2018/19 von Herrn Prof. Dr. Clemens Walther und dem Buch "Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes" von Hans-Gerrit Vogt und Dr. Jan-Willem Vahlbruch. Dabei sollen alle in Kapitel Vier genannten Größen behandelt und wiederholt werden. Im Übungsbetrieb kann das Spiel als Wiederholung der dosimetrischen Begriffe im Strahlenschutz dienen. Darüber hinaus kann das Exit-Spiel auch in den Präsenzphasen eigenständig von einer kleineren Gruppe an Studierenden durchgeführt werden, ohne, dass hierbei eine besondere Unterstützung einer Lehrperson erforderlich ist. Die logische Struktur des Spiels ist hierbei die Aufteilung in die einzelnen Rätsel, welche jeweils eine Thematik behandeln. Die Studierenden werden anhand der Rätsel-Karten und Lösungs-Karten durch das Spiel geleitet. Da auch in der Literatur zwischen Allgemeinen Dosisbegriffen, Schutzgrößen und Messgrößen unterschieden wird, hat das Spiel diese Struktur übernommen. Das Spiel ist in Drei Räume aufgeteilt und behandelt in jedem Raum ein anderes Oberthema. Die Studierenden haben die Möglichkeit, über verschiedene Darstellungsebenen die physikalischen Inhalt nochmals zu wiederholen. Sei es zum Beispiel das erste Rätsel, wo die Studierenden mit verschiedenen Graphen umgehen müssen, was sich auf der ikonischen Ebene abspielt. Oder im Gegensatz dazu sei das neunte Rätsel heranzuziehen, in welchem die Studierenden über die enaktive und symbolische Darstellungsebene eine Formel zusammenlegen sollen. Dies bezieht sich auf das E-I-S Prinzip[vgl. 13]. Hier ist eine riesige Palette an unterschiedlichen Herangehensweisen an die verschiedenen Begriffe des Praktischen Strahlenschutzes gegeben.

Darüber hinaus wird in dem Spiel die Problemlösekompetenz trainiert, was den Studierenden nicht nur im universitären Kontext weiterhelfen kann. Darüber hinaus werden über spielerisches Lernen die dosimetrischen Größen wiederholt und somit erhalten die Studierenden ein Feedback zu ihrem Lernstand. Diese Methode kann daher in einer Übungsstunde zu der Klausur eingesetzt werden.

6.3 Methodische Analyse

Der Einstieg in das Spiel geschieht hierbei über das Studieren der Regeln und des Lesens der Handlung. Diese wird im Laufe des Spiels immer wieder aufgegriffen und ist daher wichtig für den Spielablauf. Die Methode ist funktional für das angestrebte Lernziel, da die relevanten dosimetrischen Begriffe wiederholt werden. Durch die Multiple-Choice-Fragen werden konkrete Inhalte nochmals wiederholt und die Studierenden bekommen über die erhaltene Dosis ein Feedback ihres Lernstandes und können im Nachhinein an den Stellen, wo es Probleme gab, in der Fachliteratur nachlesen.

Die gewählte Sozialform ist idealerweise die Gruppenarbeit. Hier kommen die Studierenden in den Dialog miteinander und diskutieren über Fachinhalte im Speziellen bei der Beantwortung der Multiple-Choice-Fragen. Aber auch bei den Logikrätseln, die auf das Thema der Multiple-Choice-Fragen hindeuten, kann zusammen diskutiert werden. Auch dabei können den Studierenden Defizite aufgezeigt werden, da zur Lösung dieser Logikrätsel solide Kenntnisse des praktische Strahlenschutzes wichtig sind.

Durch die Vielfalt an Materialien wird den Studierenden ein große Abwechslung im Spielablauf gewährleistet. Da es sich hier um einen gedachten Escape-Raum handelt ist die Haptik von großer Bedeutung. Somit ist der Einsatz von den Karten in laminierter Form, dem Handzähler und den Rätseln mit dem Ordner und dem Telefonhörer von Vorteil. Als Übungsleiter ist genau diese Vielfalt und Masse an verschiedenen Rätseln zu beachten, denn sollten Rätsel nicht gelöst werden und somit die Bearbeitungszeit steigt, könnte das Spiel den Rahmen einer Präsenzphase sprengen. Daher ist es wichtig, auf die Hilfe-Karten hinzuweisen, um eine übermäßige Bearbeitungszeit zu vermeiden.

Der Übungsleiter erhält über die erhaltenen Dosen der einzelnen Gruppen ebenfalls

ein Feedback zum Lernstand der Studierenden und kann so im Verlauf des Semesters auf den Ergebnissen aufbauen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war, die Entwicklung eines didaktischen Instruments zur Vermittlung dosimetrischer Begriffe im Strahlenschutz. Die methodische Verarbeitung der dosimetrischen Größen im praktischen Strahlenschutz wurde in Form eines Exit-Spiels präsentiert. Dass Spiele in der Lehre durchaus ihre Daseinsberechtigung haben, wurde in Kapitel drei gezeigt. Wichtig ist, dass die Übung der Problemlösekompetenz, die nicht nur im universitären Kontext von Bedeutung ist, ein großer Faktor für die Weiterentwicklung der Studierenden ist. Aber auch die Auseinandersetzung mit der Thematik auf eine spielerische Weise in dem entwickelten Exit-Spiel, ist ein wichtiger Punkt, um eine neue Perspektive auf den Lerninhalt zu entwickeln. Hierbei spielen die vielen verschiedenen Rätsel eine große Rolle, damit eine abwechslungsreiche Auseinandersetzung mit dem zu lernenden Stoff gewährleistet wird. Des Weiteren umfasst das Spiel die wichtigsten Inhalte des praktischen Strahlenschutzes auf einem grundlegenden Anforderungsniveau. Als Voraussetzung sollten die Spielenden zumindest die Vorlesung "Kernphysikalische und kernchemische Grundlagen des Strahlenschutz und der Radioökologie" bis zu den dosimetrischen Größen gehört haben oder eine äquivalente Leistung erbracht haben, damit das Exit-Spiel in sinnvoller Weise durchgeführt werden kann. Weiterhin wird über MEET CINCH und Flipped Classroom eine neue Herangehensweise an die Lehre der universitären Physik gewählt, wobei das Spiel ein Teil dessen werden kann.

Sollten sich in Zukunft einige Aspekte des Flipped Classrooms in der Universität durchsetzen, so könnten verschiedene Inhalte auf diese spielerische Weise verarbeitet werden. Dies würde die Tür auch für andere methodische Verarbeitungen von physikalischen Inhalten öffnen. Jedoch bleibt abzuwarten, wie solche Pilotprojekte bei den Studierenden ankommen.

Das entwickelte Spiel selbst, könnte ebenfalls auf verschiedene Weise weiterentwickelt werden. So wäre die Entwicklung eines digitalen Dosimeters vorstellbar. Außerdem könnte eine App für die Multiple-Choice-Fragen entwickelt werden, sodass die Anzahl der Karten minimiert werden kann. Auch eine Ausweitung der Rätsel als Attraktion für "die Nacht die Wissen schafft", oder zu einem richtigen Escape-Room, als Ergänzung zu Strahlenschutzkursen, wäre hier denkbar.

7 Literatur

Literatur

[1] Tilmann Betsch, Joachim Funke und Henning Plessner. "Denken-Urteilen, Entscheiden, Problemlösen". In: Berlin/Heidelberg (2011).

- [2] Regina Bruder und Christina Collet. *Problemlösen lernen im Mathematikun*terricht. Cornelsen Scriptor Berlin, 2011.
- [3] Dietrich Dörner. Problemlösen als Informationsverarbeitung. 1976.
- [4] Karl Duncker. Zur Psychologie des produktiven Denkens (Dritter Neudruck). 1935.
- [5] Organisation for Economic Co-operation und Development (OECD). "PISA 2012 results: Creative problem solving: Students' skills in tackling real-life problems (Volume V)". In: (2014).
- [6] Jürgen Handke und Alexander Sperl. Das Inverted Classroom Model: Begleitband zur ersten deutschen ICM-Konferenz. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2017.
- [7] Walter Hussy. "Denkpsychologie". In: Ein Lehrbuch 1 (1984).
- [8] Gerald Hüther und Christoph Quarch. Rettet das Spiel!: weil Leben mehr als Funktionieren ist. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2016.
- [9] Ulrike Kipman. Problemlösen. Springer, 2018.
- [10] Ernst Kircher, Raimund Girwidz und Peter Häußler. "Physikdidaktik". In: Eine Einführung 2 (2001).
- [11] Friedhart Klix. *Information und verhalten*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1971.
- [12] Inka und Markus Brand. Exit Das Spiel; Das geheime Labor. Kosmos-Verlag. 2016.
- [13] Grundfragen des Mathematikunterrichts. Erich Wittmann Grundfragen des Mathematikunterrichts. Springer, 2013.
- [14] R Oerter und L Montada. Entwicklungspsychologie. 6. Aufl. Beltz. 2008.
- [15] Herbert A Simon und Allen Newell. "Human problem solving: The state of the theory in 1970." In: American Psychologist 26.2 (1971), S. 145.
- [16] UP Tietze, M Klika und H Wolpers. Didaktik des Mathematikunterrichts in der Sekundarstufe 11. Springer, 1982.
- [17] MW Van Someren, YF Barnard und JAC Sandberg. The think aloud method: a practical approach to modelling cognitive. Citeseer, 1994.

Literatur 7

[18] Hans-Gerrit Vogt und Jan-Willem Vahlbruch. Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes: Berücksichtigt StrlSchV/StrSchlG Stand 2019. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2019.

- [19] Clemens Walther. First public Report MEET CINCH. 2017-2018.
- [20] Clemens Walther. Kernphysikalische und kernchemische Grundlagen des Strahlenschutz un der Radioökologie. 2018/19.
- [21] Markus Wiemker, Errol Elumir und Adam Clare. "Escape room games". In: Game Based Learning 55 (2015).

Abbildungsverzeichnis

1	Ergebnis der Untersuchung zu "Exit-Das Spiel"	8
2	Der Unterschied zwischen Kerma und Energiedosis	11
3	Der lineare Zusammenhang zwischen Schadensrisiko $R_{S,T}$ und Organ-	
	dosis	15
4	Der Qualitätsfaktor Q in Abhängigkeit des Energie-Übertragungsvermög	en
	L	17
5	Laborbuchseite 1	25
6	Laborbuchseite 2	28
7	Das Rätsel im Deckel des Telefonhörers	29
8	Die Abbildung in dem Ordner zu Rätsel 6	31
9	Abbildung auf den Rätsel-Karten O,Q,B und R	32
10	Laborbuchseite 3	34
11	Vorderseite der Laborbuchseite 4	36
12	Rückseite der Laborbuchseite 4	36
13	Vorderseite zu Laborbuchseite 5	38
14	Rückseite zu Laborbuchseite 5	38
15	Laborbuchseite 6	40
16	Das Zeichenrätsel auf der Rätsel-Karte T	43
17	Laborbuchseite 7	45
18	Die Auflösungs-Karte zu Rätsel 13	45
19	Laborbuchseite 9	46
20	Antwort eines Fächerübergreifenden Bachelorstudenten zum Flipped	
	Classrrom	50

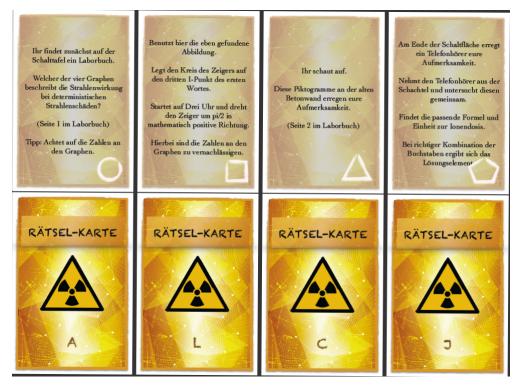
Tabellenverzeichnis 7

Tabellenverzeichnis

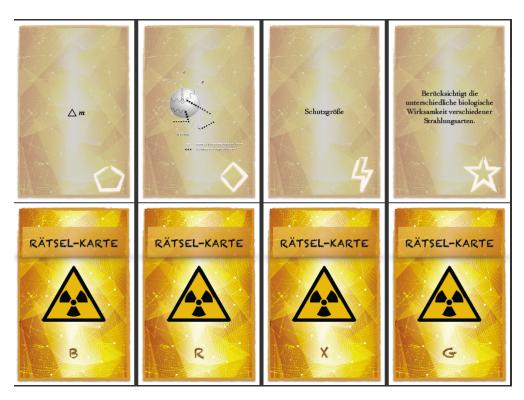
1	Das Rubikon-Modell	6
2	Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R	.4
3	Gewebe-Wichtungsfaktor w_T	.6
4	\mathbf{Q} in Abhängigkeit von L	.7
5	Ergebnistablie mit benötigter Zeit und erhaltener Dosis 4	7
6	Bewertungstabelle der erreichten Punktzahl	8
7	Die möglichen Antworten der einzelnen Rätsel 4	<u>1</u> 9

Anhang

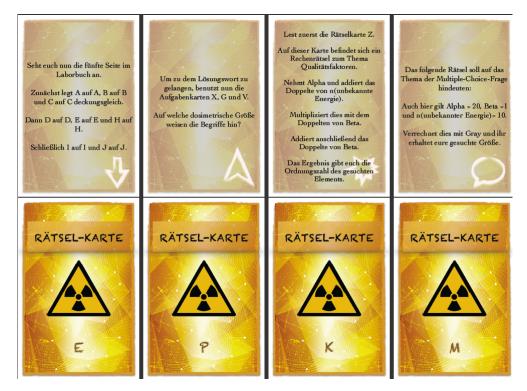
Spiel-Karten



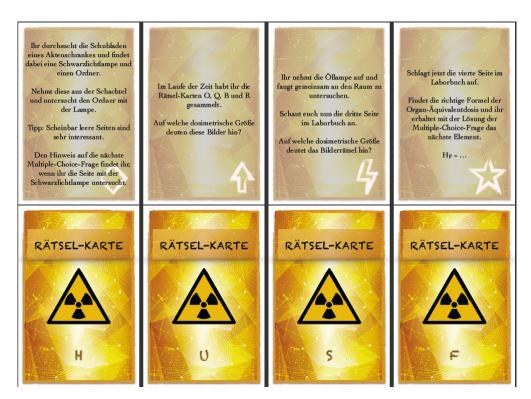
Rätsel-Karten



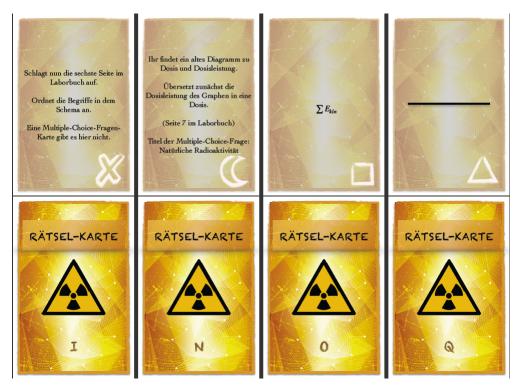
Rätsel-Karten



Rätsel-Karten



Rätsel-Karten



Rätsel-Karten



Rätsel-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Hilfe-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Lösungs-Karten



Multiple-Choice-Fragen-Karten



Multiple-Choice-Fragen-Karten

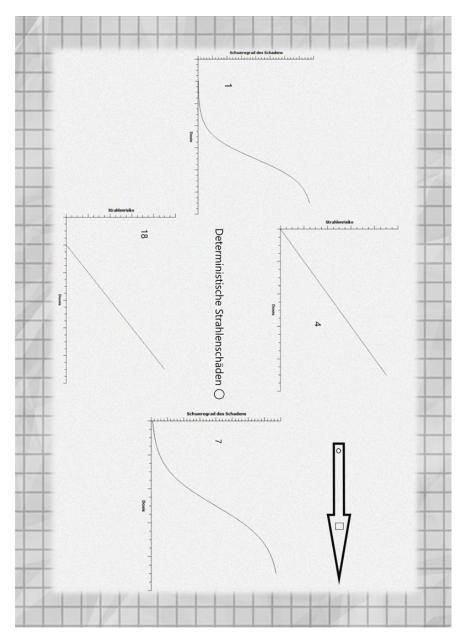


Multiple-Choice-Fragen-Karten

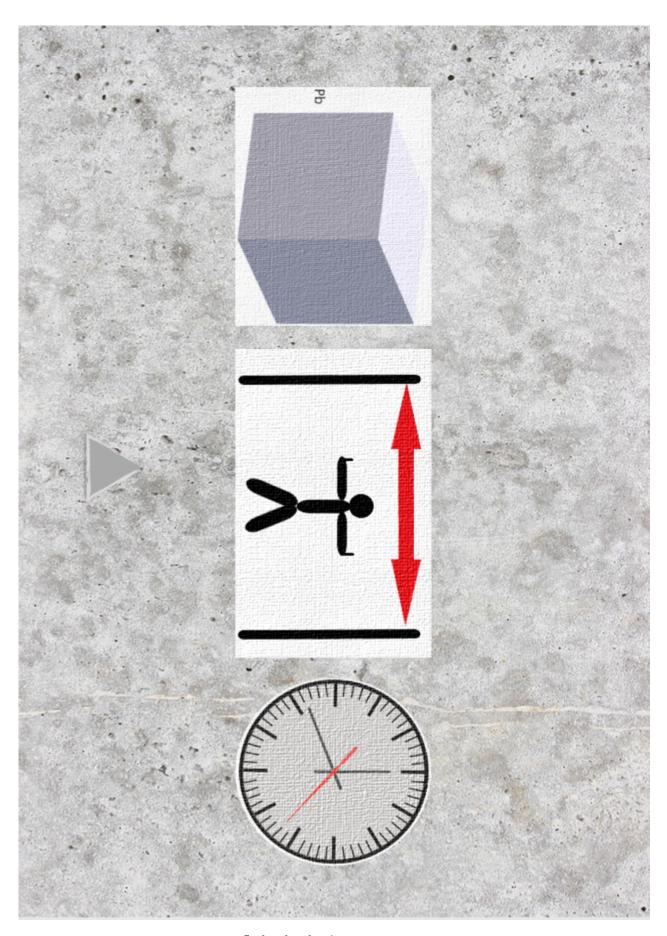


Multiple-Choice-Fragen-Karten

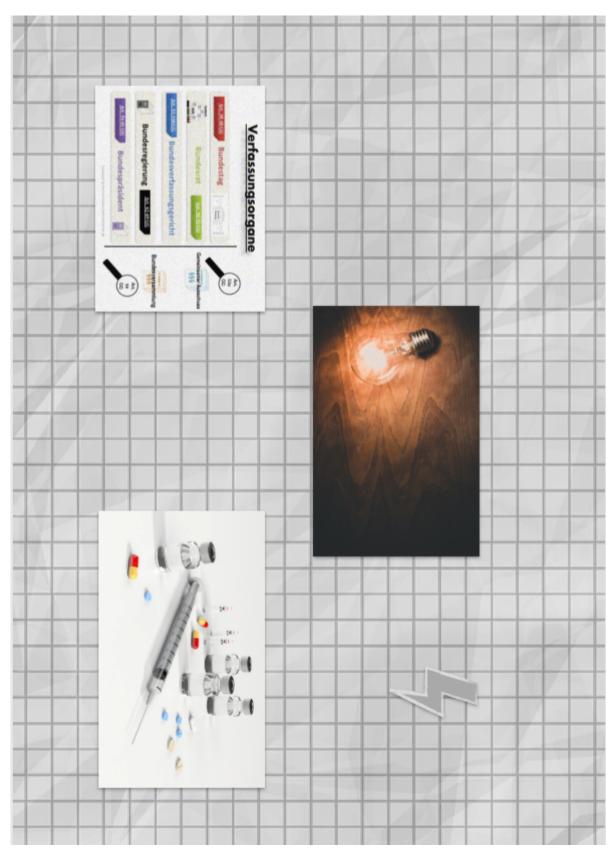
Laborbuch



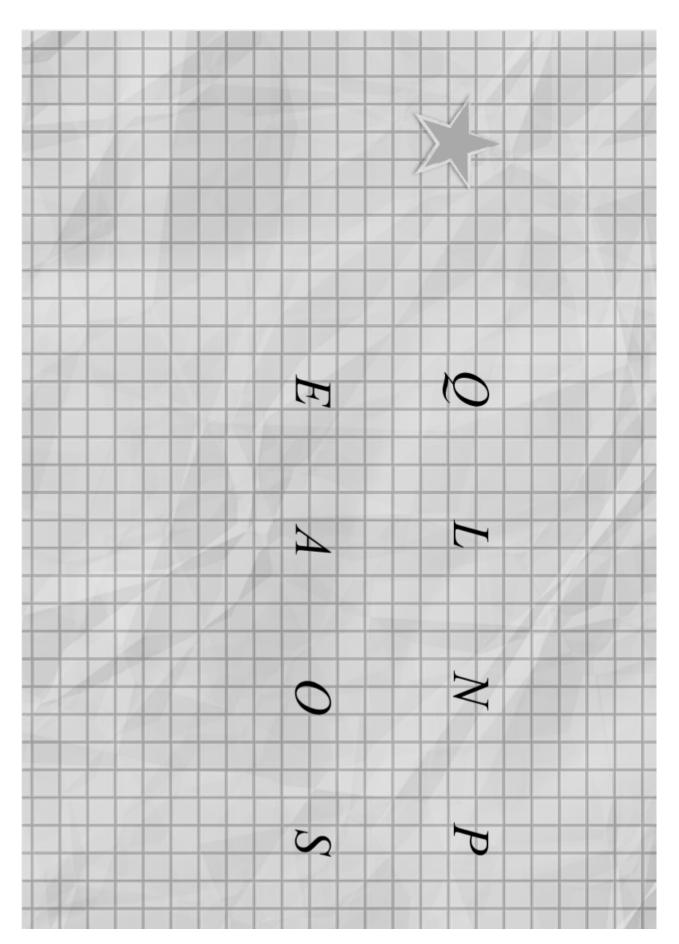
Laborbuchseite 1



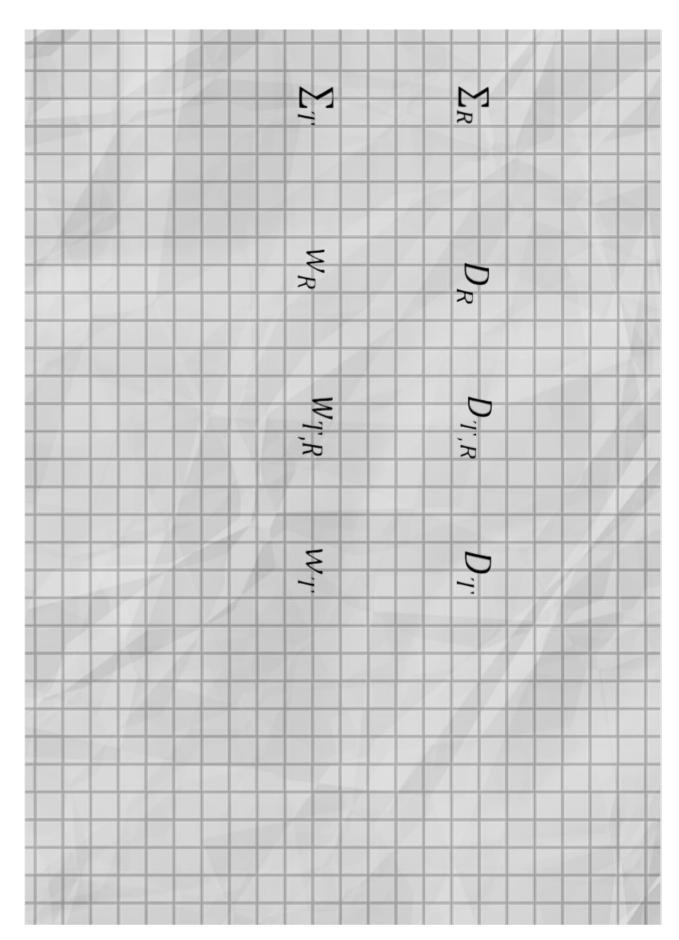
Laborbuchseite 2



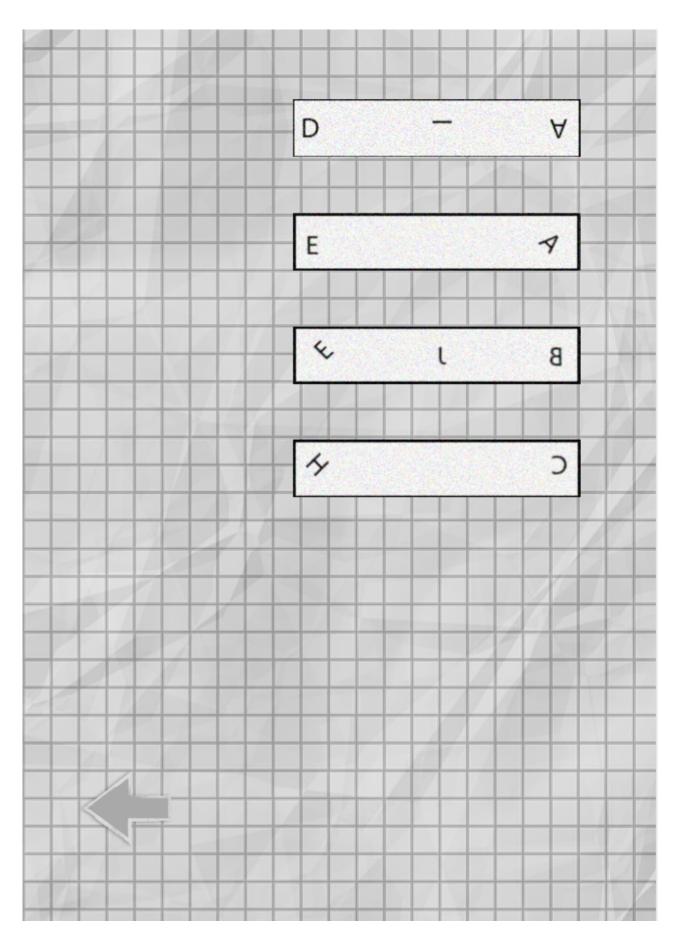
Laborbuchseite 3



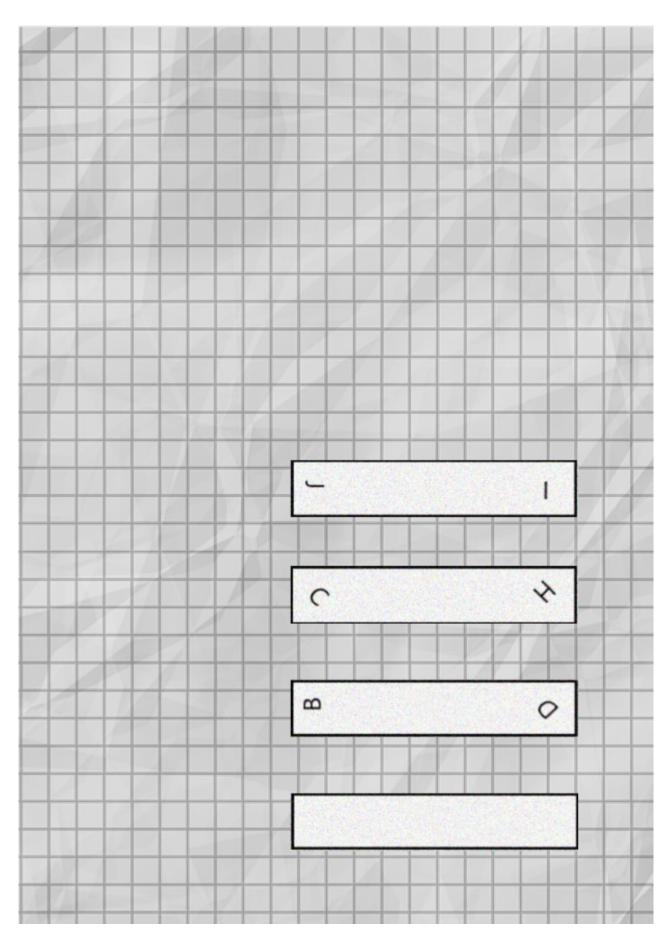
Vorderseite der Laborbuchseite 4



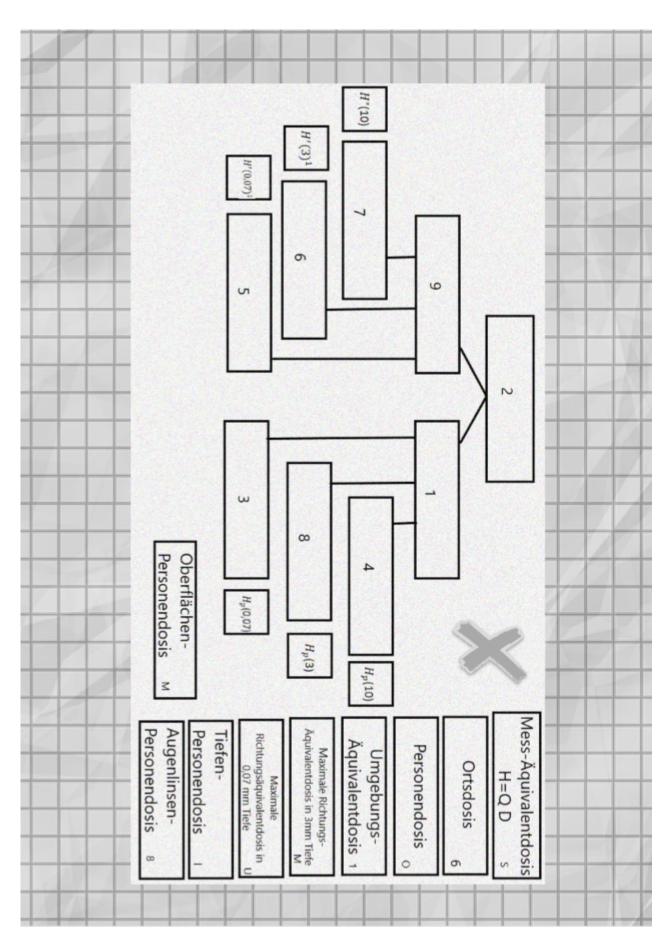
Rückseite der Laborbuchseite 4



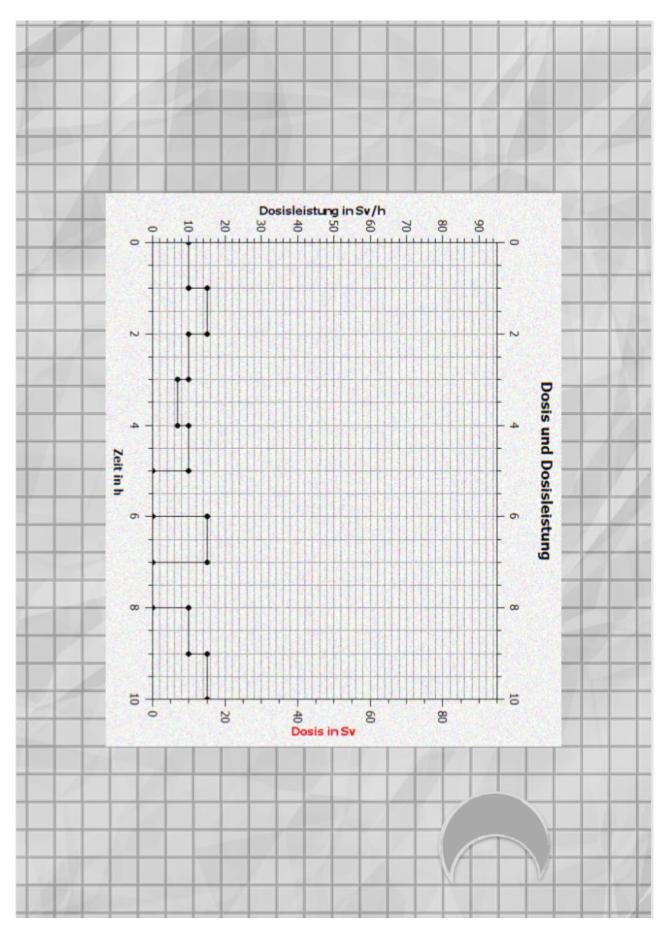
Vorderseite der Laborbuchseite 5



Rückseite der Laborbuchseite 5



Laborbuchseite 6



Laborbuchseite 7

Schema für einen Stundenentwurf

Schema für einen Stundenentwurf

Praktikant/in:

Mentor/in:

Schule (Adresse, Tel.):

Ort und Zeit des Treffpunkts zum Schulbesuch:

Klasse/ Kurs:

Stunde (genaue Zeit angeben):

1 Thema der Einheit / Übersicht über die einzelnen Stunden:

⇒ Hier sollen Sie einen Überblick über die gesamte Einheit geben. Bei sehr langen Sequenzen ist es auch legitim, nur die 2-3 vorhergehenden und die 2-3 folgenden Stunden anzugeben.

Thema der Einheit: Grobziel/ Schwerpunkt der Einheit:

Die Stundenübersicht können Sie wie folgt gestalten:

Std.		
1	Inhalt/ Thema:	
	Schwerpunkt	
	der Stunde	
2	Inhalt/ Thema:	
	Schwerpunkt	
	der Stunde	
3	Inhalt/ Thema:	
	Schwerpunkt	
	der Stunde	
4	Inhalt/ Thema:	
	Schwerpunkt	
	der Stunde	

2 Unterrichtsvoraussetzungen

2.1 Aligemeine Unterrichtsvoraussetzungen

Hier sollen Sie die für den Unterricht wesentlichen (!!!) Lernvoraussetzungen beschreiben.
 Dazu gehören z.B. die Größe und Zusammensetzung der Lerngruppe, die Atmosphäre innerhalb der Lerngruppe, Ihr Verhältnis zu der Lerngruppe, die Einstellung der Lerngruppe zum Deutschunterricht, das Sprach- und Leistungsniveau sowie besondere Lehr- und Lerngewohnheiten.

2.2 Spezielle Unterrichtsvoraussetzungen

⇒ In diesem Kapitel sollen Sie das für die aktuelle Stunde notwendige inhaltliche Vorwissen, eventuell auch besondere motivationale Aspekte darstellen. Ebenso müssen Sie die

Schema für einen Stundenentwurf der TU-Berlin; Seite 1

methodischen Fertigkeiten der SchülerInnen (z.B. ihre Erfahrungen mit kreativen Verfahren) bedenken.

Wichtig: Vermeiden Sie es, in den Unterrichtsvoraussetzungen Allgemeinplätze auszubreiten. Stellen Sie wirklich nur die für den Unterricht relevanten Aspekte dar.

3 Sachanalyse und Didaktische Analyse

Leitfragen:

- Welche inhaltliche bzw. logische Struktur hat der Unterrichtsgegenstand und (besonders im Literaturunterricht) welche thematischen Aspekte sind mit ihm verbunden
- Welche Verstehensschritte sind zur Erschließung des Gegenstandes notwendig?
- Wie lässt sich die Wahl des Unterrichtsgegenstandes begründen, d.h. was k\u00f6nnen und sollen die Sch\u00fclernnen an dem Gegenstand lernen?
- Welche Schlussfolgerungen ergeben sich aus didaktischer Sicht aus der in der Sachanalyse dargestellten Struktur des Gegenstandes (z.B. didaktische Reduktion, Schwerpunkte der Textarbeit etc.)?

Die Sachanalyse basiert auf Ihrer fachwissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsgegenstand. Sie richtet sich aber an fachkundige Kollegen, so dass Sie keine Selbstverständlichkeiten darlegen müssen. Wichtig ist, dass Sie die Sachanalyse stets aus der Perspektive des unterrichtenden Lehrers schreiben, d.h. Sie sollen nur die Aspekte darstellen, die für die aktuelle Stunde von Belang sind. Also: keine komplette Analyse und Interpretation des "Faust", sondern eine Analyse der Studierzimmer-Szene im Hinblick auf den Unterricht in einem Grundkurs Deutsch.

Entscheidend ist, dass Sie aber auch die Lernerperspektive einnehmen und darstellen, welche Verstehensschritte zur Erschließung des Gegenstandes notwendig sind.

Aus didaktischer Sicht sind im Anschluss folgende Fragen zu beantworten:

- ⇒ Wie ist der Unterrichtsgegenstand in den Rahmenplan eingebettet?
- ⇒ Welche Lernmöglichkeiten ergeben sich?
- ⇒ An welche Schülerinteressen kann angeknüpft werden?
- ⇒ Welche Stellung hat die aktuelle Stunde innerhalb der Reihe/ Sequenz?

Schließlich sollen die beiden Aspekte (Sach- und Didaktische Analyse) zusammengeführt werden:

- ⇒ Welche Probleme/ Schwierigkeiten könnten sich für die SchülerInnen ergeben?
- ⇒ Welche strukturellen Vereinfachungen sind deshalb notwendig ? (= Didaktische Reduktion)
- ⇒ Welche Textstelle bzw. welches grammatisches(Teil-)Phänomen steht im Zentrum der Stunde?
- ⇒ Worauf liegt der Schwerpunkt der Stunde, d.h. was ist das zentrale Ziel?

4 Methodische Analyse

Leitfrage(n): Wie können die Ziele, die sich aus der Sachanalyse und der didaktischen Analyse ergeben, am besten erreicht werden und wie muss der Lernprozess demzufolge gestaltet werden.

In der methodischen Analyse können Sie sich am Stundenverlauf orientieren. Wichtig ist, dass Sie nicht den Unterrichtsverlauf beschreiben, sondern dass Sie ihn (und zwar alle wesentliche Unterrichtsschritte) **begründen**.

Auswahl von relevanten Fragen für die methodische Analyse:

- ⇒ Welche Funktion(en) erfüllt der Einstieg?
- ⇒ Warum ist die gewählte Methode funktional für das angestrebte Lernziel?

Schema für einen Stundenentwurf der TU-Berlin; Seite 2

- ⇒ Welche Bedeutung hat die gewählte Sozialform?
- ⇒ Welchen Beitrag leisten die gewählten Medien?

5 Antizipierte Lernergebnisse

Leitfrage(n): Welche Kenntnisse und Kompetenzen sollen die SchülerInnen am Ende der Stunde erworben haben und woran kann man dies überprüfen?

- ⇒ Die Lernziele bzw. die geförderten Kompetenzen ergeben sich aus der Sachanalyse und aus der didaktischen Analyse.
- ⇒ Woran man erkennen kann, dass die Lernziele erreicht wurden, ergibt sich aus der methodischen Analyse.

Wichtig ist, dass Sie die im Rahmenlehrplan formulierten Kompetenzen konkretisieren.

6 Verlaufsplanung

Die Verlaufsplanung sollte in folgende Tabelle eingetragen werden:

Phase /Zeit	geplantes Lehrerverhalten	erwartetes Schülerverhalten	Sozialform / Medien
z.B. Einstieg/ Erarbeitung/ Auswertung/ Vertiefung			incure.

Entscheidend ist, dass Sie in der Spalte "erwartetes Schülerverhalten" konkrete Antwortmöglichkeiten der SchülerInnen notieren bzw. auf die erwarteten Leistungen (z.B. Arbeitsblätter, Tafelbilder, Folien etc.) verweisen.

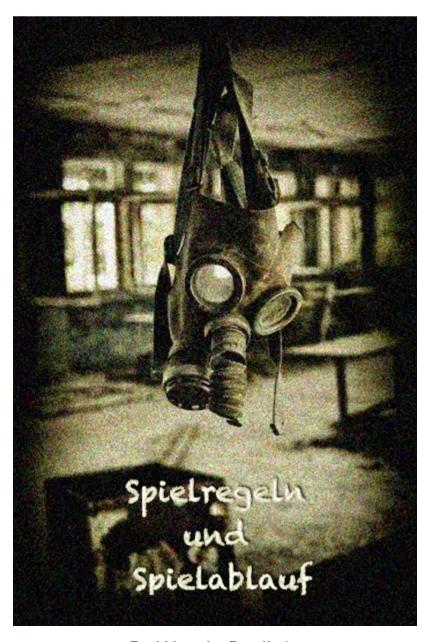
7 Geplantes Tafelbild / Folie / Arbeitsblatt

Hier ergänzen Sie alle verwendeten Materialien und das geplante Tafelbild.

Wichtig ist, dass alle Arbeitsblätter mit den erwarteten Lösungen versehen werden.

Schema für einen Stundenentwurf der TU-Berlin; Seite 3

Regelheft



Deckblatt des Regelhefts



Regelheft Seite 1

Prüft, ob die Lösungskarten in alphabetischer Reihenfolge sortiert sind. Sollten sich Zahlen auf den Lösungskarten befinden, so sollten diese nach aufsteigender Zahl sortiert sein. Die Rätsel-Karten, Lösungs-Karten und Multiple-Choice-Fragen-Karten legt ihr im Anschluss als Stapel auf den Tisch.

Anschließend sortiert ihr die Hilfe-Karten nach ihren Symbolen. In jedem Stapel müsste es einen 1. Tipp, eine 2. Tipp und eine Auflösung geben. Einige Hilfe-Karten sind auf der Rückseite mit Themen belegt. Sortiert dies nach den Themen und verteilt sie ebenfalls auf dem Tisch.

Spielplan?

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

Spielablauf

Das Ziel des Spiels ist es die Rätsel zu lösen und so aus den Räumen zu entkommen. Durch das Spiel begleiten euch die Rätsel-Karten, Multiple-Choice-Fragen-Karten, Lösungs-Karten und Hilfe-Karten.

2

Regelheft Seite 2

Ein beispielhafter Ablauf eines Rätsels sieht folgendermaßen aus: Zunächst nehmt ihr euch die Rätsel-Karte(n) mit den/dem richtigen Buchstaben. Anschließend nehmt ihr euch die Materialien, die zu Lösen des Rätsels benötigt oder schlagt die dazugehörige Seite im Laborbuch auf. Dies wird auf der Rätselkarte stehen. Zunächst beschreibt euch die Rätselkarte das Logikrätsel genauer. Das Logikrätsel deutet auf die nachfolgende Multiple-Choice-Frage hin. Solltet ihr euch für die Multiple-Choice-Frage mit dem richtigen Thema entschieden haben, so ist nun diese zum Lösen des Rätsels zu beantworten. Jede Antwortmöglichkeit der Multiple-Choice-Frage hat eine Zahl zugewiesen bekommen. Addiert die Zahlen der Antworten, die ihr für richtig erachtet und ihr erhaltet eine Ordnungszahl eines Elements. Mit dem Periodensystem könnt ihr nun schauen welches Element sich hinter der Ordnungszahl verbirgt. Auf der Rückseite der Lösungskarten sind Elemente des Periodensystems aufgetragen. Sucht die Lösungskarte mit dem richtigen Element. Auf der Lösungskarte selbst kann nun beschrieben werden, welche Rätsel-Karte ihr euch als nächstes nehmen dürft. Solltet ihr die falschen Antwortmöglichkeiten gewählt haben, so wird euch gesagt, dass ihr eine Dosis von 1 mSv erhalten habt und das Rätsel nochmal probieren sollt. Die Dosis von 1 mSv entspricht in dem Spiel einem Klick auf dem Handzählgerät. Obacht! Auch die Logikrätsel können zu der Ordnungszahl beitragen. Sortiert die falschen Lösungs-Karten wieder in den Stapel. Die Dosis auf eurem Dosimeter gibt euch später Auskunft über den Spielerfolg. In dem Spiel gibt es 3 Räume, die ihr hintereinander verlassen müsst. In jedem dieser Räume gilt ein eigenes Codierungssystem. In dem

Regelheft Seite 3

ersten Raum sollen die Zahlen der richtigen Antwortmöglichkeiten addiert werden. In dem zweiten Raum sind die Zahlen im Binärsystem angegeben und es werden auch hier die Zahlen der Antwortmöglichkeiten zu einer Ordnungszahl addiert. Die Hilfe-Karte "Addition im Binärsystem", erinnert euch daran, wie dies funktioniert. In dem letzten Raum wird euch das Logikrätsel die Ordnungszahl des gesuchten Isotops geben und aus der Multiple-Choice-Frage ergibt sich dann die Massenzahl des Isotops.

Anschließend schaut ihr nach der Halbwertszeit des Lösungsnuklids und findet so die richtige Lösungskarte.

Benötigt ihr Hilfe?

Solltet ihr bei den Rätseln Probleme bekommen, so könnt ihr Hilfe-Karten verwenden. Jedes Logikrätsel und die dazugehörigen Hilfe-Karten haben jeweils ein Symbol zugewiesen bekommen, sodass ihr wisst welche Hilfe-Karte zu welchem Rätsel gehört. Zu jedem Logikrätsel gibt es jeweils 3 Hilfe-Karten. Solltet ihr den ersten Tipp benutzen, so erhaltet ihr eine Dosis von 1 mSv (ein Klick auf dem Handzählgerät) und solltet ihr den zweiten Tipp ebenfalls gebrauchen, so erhaltet ihr eine Dosis von 2 mSv (zwei Klicke auf dem Handzählgerät). Die dritte Hilfe-Karte ist die Auflösungskarte, wo euch die Lösung des Rätsels gegeben wird. Solltet ihr diese benutzen, so erhaltet ihr eine Dosis von 3mSv (drei Klicke auf dem Handzählgerät).

Auch bei den Multiple-Choice-Fragen können Probleme auftreten. Daher habt ihr zu jeder Multiple-Choice-Fragen-Karte auch zwei Hilfe-Karten, diese sind jeweils mit dem behandelnden Thema der Multiple-Choice-Frage gekennzeichnet. Die erste Hilfe-Karte gibt

4

Regelheft Seite 4

euch einen Hinweis darauf wie viele der Antwortmöglichkeiten richtig sind. Solltet ihr diese benutzen so erhaltet ihr eine Dosis von 1 mSv. Die zweite Hilfe-Karte ist die Auflösung der Multiple-Choice-Frage. Dafür erhaltet ihr eine Dosis von 3 mSv. Einzelne Spielkarten Rätsel-Karten: Diese Karten sind Gelb und mit Buchstaben gekennzeichnet. Sie erklären euch das Logikrätsel genauer. Außerdem zählen sie euch auf welche Gegenstände ihr braucht und welche Seite im Laborbuch genutzt werden soll. Die Logikrätsel deuten auf das Thema der Multiple-Choice-Frage hin und können auch selbst zu der Lösungszahl beitragen, sodass ihr nach der Rätsel-Karte die Multiple-Choice-Fragen-Karte nehmt die das richtige Thema behandelt. In einigen Fällen bekommt ihr Rätsel-Karten auf denen kein genauer Auftrag steht. Diese behaltet ihr solange bis sie von einer anderen Rätsel-Karte thematisiert werden. Multiple-Choice-Fragen-Karten: Diese Karten sind grau und tragen das behandelnde Thema auf der Rückseite. Bitte gleicht zunächst ab, ob ihr die richtige Multiple-Choice-Fragen-Karte gezogen habt. Die richtige Rätsel-Karte die zur der Multiple-Choice-Frage führt, ist über der Multiple-Choice-Frage aufgeführt. Jede der Antwortmöglichkeiten hat eine Zahl zugewiesen bekommen, die ihr dann zu einer Ordnungs- oder Massenzahl addieren sollt. In dem Spiel gibt es auch Worträtsel, in der Form das entschieden werden muss, ob der Satz richtig oder falsch ist. Für beide Möglichkeiten, sind dann Buchstaben vorgesehen.

Regelheft Seite 5

Lösungs-Karten: Diese Karten sind grün und In der Regel sind auf der Rückseite dieser Elemente aufgetragen. Übersetzt die Ordnungszahl, die ihr aus dem Rätsel bekommen habt in das Element und sucht die Lösungskarte mit dem richtigen Element heraus. In dem letzten Raum werdet ihr ein Element und die dazugehörige Massenzahl herausbekommen. Schaut in der Nuklidkarte nach, welche Halbwertszeit dieses Nuklid hat und sucht euch die Lösungskarte mit dieser Halbwertszeit raus. Hilfe-Karten: Diese Karten sind rot und tragen auf der Rückseite entweder das Symbol des Rätsels oder das Thema der Multiple-Choice-Frage. Bei Benutzung erhaltet ihr folgende Dosen: 1.Tipp der Logikrätsel = 1 mSv 2.Tipp der Logikrätsel = 2 mSv Auflösung der Logikrätsel = 3 mSv 1.Tipp der Multiple-Choice-Fragen = 1 mSv Auflösung der Multiple-Choice-Frage = 3 mSv Wann endet das Spiel? Das Spiel endet, wenn ihr das letzte Rätsel gelöst habt. Startet die Stoppuhr nachdem ihr das Regelheft durchgelesen habt. In folgender Tabelle könnt ihr schauen, wie gut ihr wart. <30mSv <70mSv >100mSv <10m5v <50mSv <75 Min. 11 Punkte 9 Punkte 7 Punkte 5 Punkte 3 Punkte <90 Min. 10 Punkte 8 Punkte 6 Punkte 4 Punkte 2 Punkte >90 Min. 9 Punkte 7 Punkte 5 Punkte 3 Punkte 1 Punkt 6

Regelheft Seite 6

4-6 Punkte 7-9 Punkte	Ihr solltet die Unterlagen zum praktischen Strahlenschutz nochmal sorgfältig lesen. Ihr solltet euch noch einmal einige Sachen für den praktischen
7-9 Punkte	
	Strahlenschutz anschauen. 20 mSv is der Grenzwert der jährlichen Strahlenexposition für beruflich strahlenexponierte Personen in Deutschland.
10-11 Punkte	Ihr seid gut für den praktischen Strahlenschutz gewappnet. Im Bereich von 10-20mSv liegt die Dosisbelastung durch eine Ganzkörper-Computertomographie.
Noch ein letzter	Tipp
Ihr könnt die Materialien beschist erlaubt und es wird im Lau	hriften, falten oder zerschneiden. Das fe des Spiels auch notwendig. Legt das greich gelösten Rätseln beiseite, so

Regelheft Seite 7

Dann kann es jetzt Losgehen...

Du hörst von einem einmaligen Angebot an der Universität. Hier wird eine Besichtigung des ehemaligen Kernkraftwerks Tschernobyl angeboten. Ein Startup aus Deutschland sucht Physikstudenten, die an einer kostenlosen Besichtigung des ehemaligen Kernkraftwerkes interessiert sind. Es wird ausdrücklich empfohlen grundlegende Kenntnisse des Strahlenschutzes zu haben, da die Besichtigung dieser Räumlichkeiten nicht ganz Risiko frei ist. Da du dir als begeisterter Physikstudent diese einmalige Gelegenheit nicht entgehen lassen möchtest, fragst du deine Kommilitonen, ob diese Lust hätten sich dir anzuschließen. Nach kurzer Beratung erfasst ihr den Beschluss euch bei dem Startup anzumelden.

Einige Tage später werdet ihr von dem Unternehmen kontaktiert. Ihr erhaltet eine Sicherheitseinweisung und eine Einverständniserklärung mit der ihr euch bereit erklärt, im Falle von Krankheiten oder Spätfolgen, selbst für eventuelle Krankenhausrechnungen aufkommt. Darüber hinaus wird erwähnt, dass ihr vor Ort eine Aufgabe zu erledigen habt. Genaueres wird euch dann in Tschernobyl erklärt. Mit der Unterschrift auf der Einverständniserklärung nehmt ihr auch diese Information zur Kenntnis. Wie schwer kann diese Aufgabe schon sein...

Einige Wochen später macht ihr euch auf den Weg nach Tschernobyl. Ihr werdet an der Uni abgeholt und zum Flughafen gefahren. Der Flug in der

1.Klasse nach Tschernobyl ist ein Traum. In freudiger Erwartung kommt ihr am Flughafen an. Dort werdet ihr von einem deutschsprachigen Guide in Empfang genommen. Dieser übergibt

8

Regelheft Seite 8

euch ein Dosimeter, das ihr immer bei euch tragen müsst. Anschließend erhaltet ihr eine Sicherheitseinweisung, ehe ihr euch mit dem Bus auf den Weg in das ehemalige Kernkraftwerk begebt. Der Rundgang ist für euch physikbegeisterte Studenten eine unglaubliche Erfahrung. Ihr lauft durch die vielen verzweigten Gänge, die einem Labyrinth gleichen und fühlt euch durch die Einrichtung in die 1980er Jahre zurückversetzt. Plötzlich bleibt der Guide vor dem Kontrollraum des ehemaligen Reaktors Vier stehen. Als Gruppe betretet ihr diesen Raum. "Hier beginnt eure Aufgabe.", sagte dieser in bestimmender Stimme. Ihr sollt euch mittels Lösung von einigen Physikrätseln durch drei Räume kämpfen, um am Ende das Kernkraftwerk verlassen zu können. Durch die Lösung der Rätsel erhaltet ihr Schlüssel um durch die Türen gehen zu können. "Achtet auf die Dosis!", ruft er euch zu und drückt euch noch ein Periodensystem in die Hand. Der Guide verlässt den Raum durch die Vordertür und schließt diese ab. Nun seid ihr auf euch alleine gestellt... Ihr schaut euch in dem Kontrollraum um und entdecket eine Reihe an Schalttafeln, veralteten Bildschirmen und eine riesige Bedienungseinheit mit allerlei Knöpfen und Reglern. Auch hier wird der Charme der 1980er Jahre versprüht. In dem ehemaligen Kontrollraum entdeckt ihr alte Aktenschränke, ein riesiges Periodensystem und durchgesessene Bürostühle, die einer längst vergangenen Zeit angehören. Euer Weg durch den Raum führt euch an die Schalttafel und dort findet ihr die Rätselkarte A.

Regelheft Seite 9