

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

Fakultät für Mathematik und Physik
Institut für Radioökologie und Strahlenschutz

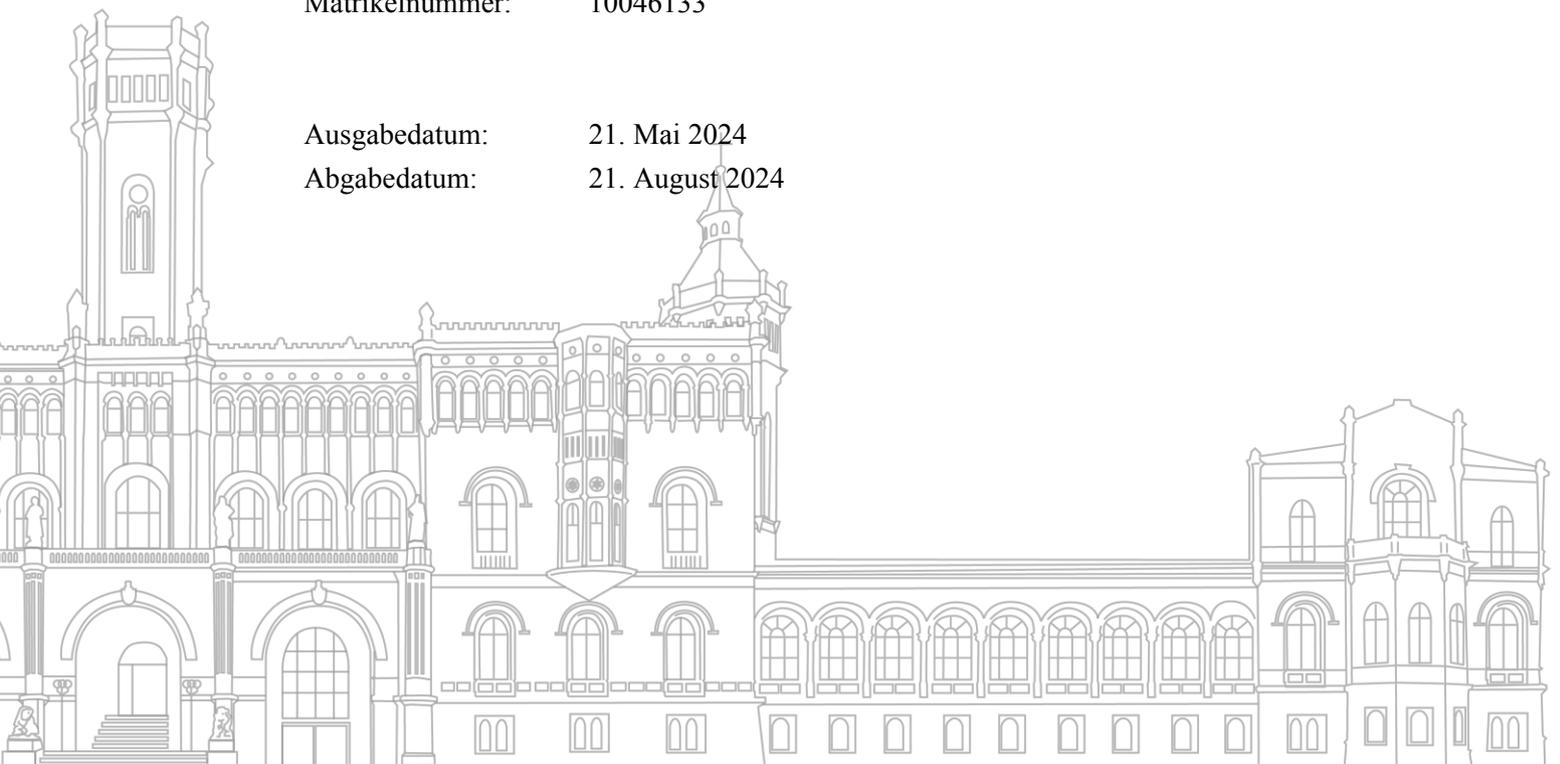
**Veränderung der Risikowahrnehmung von
Schülerinnen und Schülern in Bezug auf ionisierende
Strahlung durch Messung von Radioaktivität in
Umwelt- und Alltagsproben**

Bachelorarbeit

im Studiengang Physik und Religionswissenschaft
von Nicoletta Schmidt-Müller

Erstprüfender: Prof. Dr. Clemens Walther
Zweitprüfender: Dr. Wolfgang Schulz
Matrikelnummer: 10046133

Ausgabedatum: 21. Mai 2024
Abgabedatum: 21. August 2024



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretischer Hintergrund	2
2.1	Grundlagen der ionisierenden Strahlung	2
2.1.1	Radioaktiver Zerfall.....	3
2.1.2	Detektion ionisierender Strahlung mit dem Geiger-Müller-Zählrohr	6
2.2	Radioaktivität im Unterricht der Sekundarstufe I.....	7
2.3	Risikowahrnehmung in Bezug auf Radioaktivität.....	9
3	Forschungsmethodik	11
3.1	Entwicklung des Fragebogens	11
3.2	Beschreibung und Rekrutierung des Samples	16
3.3	Beschreibung der Messeinheit.....	17
3.4	Durchführung der Umfrage	22
3.5	Datenanalyse.....	23
3.5.1	Indexbildung.....	24
3.5.2	Varianzanalysen	25
3.5.3	Korrelationsanalysen	29
3.5.4	Grundlegende Kennzahlen der deskriptiven Statistik	30
4	Ergebnisse	32
4.1	Qualitative Ergebnisse der Unterrichtsdiskussion.....	32
4.2	Deskriptive Ergebnisse	34
4.3	Hypothesentests.....	44
4.3.1	Geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich Radioaktivität.....	44
4.3.2	Effekte der Experimentiereinheit.....	47
4.3.3	Korrelationen zwischen Wissen und Risikowahrnehmung	51
5	Diskussion	52
5.1	Interpretation der qualitativen Ergebnisse der Unterrichtsdiskussion	52
5.2	Interpretation der deskriptiven Ergebnisse	54
5.3	Interpretation der Hypothesentests	56
6	Zusammenfassung und Fazit.....	59

Literaturverzeichnis	61
A Anhang	I
A.1 Fragebogen zum Thema „Radioaktivität“	I
A.2 Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit radioaktiven in Schulen – Blatt 1: umschlossene radioaktive Stoffe.....	III
A.3 Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Schulen – allgemeine Maßnahmen	XI
A.4 Tafelbilder Messeinheit	XIII
A.5 Übersicht der Beantwortung der Fragen im Fragebogen	XX
Eidesstattliche Erklärung.....	XXIV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorbereitung der Proben zur Erstellung einer Rangfolge.....	18
Abbildung 2: Weitere Proben der Messeinheit.....	19
Abbildung 3: Gegenüberstellung des t-Tests für unabhängige Stichproben (links) und für abhängige Stichproben (rechts).	27
Abbildung 4: Qualitative (links) und quantitative (rechts) Einordnung der Proben bezüglich der Menge an Radioaktivität einer Lerngruppe.	32
Abbildung 5: Veränderung der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.....	35
Abbildung 6: Veränderung der Zustimmung bezüglich der Aussage über die Gefahr von Radioaktivität im Alltag. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 228.	36
Abbildung 7: Veränderung der Zustimmung bezüglich der Aussage über die Auswirkungen von Radioaktivität im Vergleich zu anderen Risiken. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.	38
Abbildung 8: Veränderung der Einschätzung über den Erfolg in einer Klausur zum Thema Radioaktivität. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.	40
Abbildung 9: Veränderung der Einschätzung der Menge an Radioaktivität in der Armbanduhr. Vorher-Nachher-Vergleich. n = 230.....	42
Abbildung 10: Veränderung der Einschätzung der Menge an Radioaktivität im Kompass. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 230.....	43
Abbildung 11: Veränderung der Einschätzung der Menge an Radioaktivität in der Uranglasschale. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 230.	43
Abbildung 12: Veränderung der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein. Getrennt nach Geschlecht. n = 227.	45
Abbildung 13: Veränderung der Risikowahrnehmung. Getrennt nach Geschlecht (Score von zwei bis zehn möglich). n = 227.....	46
Abbildung 14: Veränderung der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein. Vorher-Nachher-Vergleich. n = 227.....	47
Abbildung 15: Veränderung der Risikowahrnehmung. Vorher-Nachher-Vergleich (Score von zwei bis zehn möglich). n = 227.....	49

Abbildung 16: Veränderung des Wissensstandes. Vorher-Nachher-Vergleich (Score von null bis dreizehn möglich). n = 211..... 50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: (Geschlechter-) Verteilung der Schülerinnen und Schüler pro Schule.	17
Tabelle 2: Auflistung der verwendeten Proben.....	20
Tabelle 3: Einordnung des Wertes der Effektstärke.....	28
Tabelle 4: Item- Wie hoch schätzt du die Wahrscheinlichkeit ein, in deinem Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein? Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.....	34
Tabelle 5: Item - Die Gefahr, die durch Radioaktivität ausgeht, schätze ich im Alltag als groß ein. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 228.	36
Tabelle 6: Item - Die Auswirkungen von Radioaktivität im Alltag betrachte ich im Vergleich zu anderen Risiken wie Rauchen oder Autofahren als gefährlicher für den Menschen. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.....	37
Tabelle 7: Index - Risikowahrnehmung. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.....	39
Tabelle 8: Item - Mein Kenntnisstand über Radioaktivität garantiert mir den Erfolg in einer Klausur zum Thema. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.....	39
Tabelle 9: Index – Wissensscore. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 211	40
Tabelle 10: Item - Wie hoch schätzt du die Menge an Radioaktivität in den Proben ein? Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 230.	41

Tabellen - Anhang

Tabelle A.11: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Alphastrahlung.	XX
Tabelle A.12: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Sichtbares Licht.	XX
Tabelle A.13: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Betastrahlung.	XX
Tabelle A.14: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Gammastrahlung.	XX

Tabelle A.15: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Funkstrahlung.	XXI
Tabelle A.16: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Radiostrahlung.	XXI
Tabelle A.17: Radioaktivität erkenne ich an... - Antwortmöglichkeit: Einem charakteristischen gelb- und/oder grünen Leuchten.	XXII
Tabelle A.18: Radioaktivität erkenne ich an... - Antwortmöglichkeit: Einer hohen chemischen Reaktivität.	XXII
Tabelle A.19: Radioaktivität erkenne ich an... - Antwortmöglichkeit: Es gibt keine äußerlichen Merkmale.	XXII

1 Einleitung

Die Vermittlung von Grundlagen, auch im Hinblick auf die Themengebiete Radioaktivität und Strahlenschutz, sollte und muss in der Schule geschehen. Es ist deswegen wichtig, dass unabhängig von politischen Überzeugungen, diese Themen angemessen und damit auch experimentell im Unterricht behandelt werden, da Experimente für einen nachhaltigen Wissenserwerb im naturwissenschaftlichen Bereich unabdingbar sind (Vahlbruch, 2016, S. 19).

Im Rahmen des transdisziplinären Arbeitspakets TRUST beschäftigt sich das Forschungsprojekt TRANSENS mit Fragen zum Vertrauen der Bevölkerung in Bezug auf die Endlagerung radioaktiver Abfälle (vgl. Drögemüller et al., 2021, S. 71–77; vgl. TRANSENS, 2024). In diesem Kontext wurden in der Vergangenheit sogenannte „Hands-On“-Workshops zur Messung von Radioaktivität in Umwelt- und Alltagsproben entwickelt und bei öffentlichen Veranstaltungen durchgeführt (vgl. Nationales Begleitgremium, 2023; vgl. TRANSENS, 2023a, 2023b).

Innerhalb des Arbeitspakets TRUST existiert ebenfalls ein Fokus auf der Zusammenarbeit mit Schulen zur Stärkung der Ausbildung beim Thema Radioaktivität. So wurden im Rahmen des TRUST Moduls 2 (Bürgermessstelle in Remlingen), neben den Messeinheiten auf öffentlichen Veranstaltungen, vergleichbare Messeinheiten an Schulen in der Umgebung der Schachanlage Asse durchgeführt. Erste qualitative Erkenntnisse deuten darauf hin, dass eigenständige Messungen von Radioaktivität einen signifikanten Einfluss auf die persönliche Risikowahrnehmung der Experimentierenden haben könnten (Schulz et al., im Druck).

Zur Quantifizierung dieser Beobachtungen wurde im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit ein detaillierter Fragebogen zum Thema Radioaktivität konzipiert. Dieser wurde in Schulklassen der Jahrgangsstufen 9 und 10 jeweils in einer 90-minütigen Unterrichtseinheit sowohl als Vor- als auch als Nachtest eingesetzt, um mögliche Veränderungen in der Risikowahrnehmung bezüglich Radioaktivität zu erfassen.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die zentrale Forschungsfrage: Inwiefern beeinflusst das Messen von Radioaktivität in Umwelt- und Alltagsproben die Risikowahrnehmung von Schülerinnen und Schülern hinsichtlich ionisierender Strahlung?

2 Theoretischer Hintergrund

2.1 Grundlagen der ionisierenden Strahlung

Strahlung wird in Abhängigkeit von ihrer Energie in ionisierende und nicht-ionisierende Strahlung unterteilt. Im Gegensatz zur nicht-ionisierenden Strahlung besitzt ionisierende Strahlung ausreichend Energie, um Elektronen aus Atomen oder Molekülen zu lösen. Dieser Prozess wird als Ionisation bezeichnet und gilt als bedeutender Mechanismus der Energieübertragung (vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz [BMUV], 2020; vgl. Demtröder, 2017, S. 200). Zu den Arten ionisierender Strahlung zählen subatomare Teilchen wie Alpha-, Beta- und Neutronenstrahlung sowie elektromagnetische Strahlung wie Röntgen- und Gammastrahlung (vgl. Bundesamt für Strahlenschutz [BfS], 2022).

Eine weitere Klassifizierung ionisierender Strahlung unterscheidet zwischen direkt und indirekt ionisierender Strahlung. Zu den direkt ionisierenden Strahlungen zählen elektrisch geladene Teilchen wie hochenergetische Protonen, Elektronen und Alphateilchen (vgl. Krieger, 2023, S. 16). Diese Teilchen geben durch eine Vielzahl von Ionisations- und Anregungsprozessen Energie entlang ihrer Flugbahn ab (vgl. Vogt & Vahlbruch, 2019, S. 59). Zu den indirekt ionisierenden Strahlungsarten gehören demgegenüber ungeladene Teilchen wie Photonen oder Neutronen. In Abhängigkeit von der Energie des Photons und der Art der umgebenden Materie können verschiedene Wechselwirkungsprozesse auftreten. Die Photonen können dabei mit der Atomhülle oder dem Atomkern, bzw. mit dem Coulombfeld des Atomkerns oder den Hüllenelektronen wechselwirken. Zu den Wechselwirkungen ionisierender Photonenstrahlung zählen der Photoeffekt, der Comptoneffekt, der Paarbildungseffekt, die kohärente Streuung sowie die Kernphotoreaktionen (vgl. Krieger, 2023, S. 195–231).

Im Gegensatz zu Photonen können Neutronen ausschließlich mit Atomkernen interagieren. Bei Wechselwirkungen von Neutronenstrahlung wird zwischen elastischer und inelastischer Neutronenstreuung, dem Neutroneneinfang mit Gammaemission oder mit Emission einzelner geladener Teilchen sowie der neutroneninduzierten Spaltung und Spallation unterschieden (vgl. Krieger, 2023, 277 f.).

Ionisierende Strahlung kann sowohl natürlichen als auch künstlichen Ursprungs sein. Zu den natürlichen Quellen ionisierender Strahlung zählen kosmische Strahlung aus dem Weltall, terrestrische Strahlung, die Inhalation von Radon sowie die Ingestion von natürlich vorkommenden Radionukliden über die Nahrung (vgl. Krieger, 2023, S. 580). Zu den künstlichen Quellen zählen insbesondere industrielle sowie medizinische Anwendungen und kerntechnische Anlagen, die durch den Menschen geschaffen wurden (vgl. Krieger, 2023, 612 ff.).

Zur Minimierung der Exposition durch ionisierende Strahlung sind die drei A's des Strahlenschutzes von zentraler Bedeutung (vgl. Krieger, 2023, S. 69):

- Aufenthaltsdauer minimieren.
- Abstand zur Strahlungsquelle maximieren.
- Abschirmung maximieren.

Diese Maßnahmen sind sowohl zum Schutz vor natürlichen als auch vor künstlichen Strahlungsquellen relevant.

2.1.1 Radioaktiver Zerfall

Der radioaktive Zerfall bezeichnet die spontane Umwandlung instabiler Atomkerne in einen stabileren Zustand (vgl. Vogt & Vahlbruch, 2019, 11 f.). Es gibt unterschiedliche Formen des radioaktiven Zerfalls, darunter der Alpha- und Beta-Zerfall sowie die Emission von Gammaquanten.

Beim Alpha-Zerfall emittiert ein instabiles Mutternuklid ein Alphateilchen, das aus zwei Protonen und zwei Neutronen besteht. Das emittierte Teilchen ist ein positiv geladener Heliumkern. Die Emission des Alphateilchens führt zu einer Reduktion der Neutronenzahl und der Kernladungszahl Z des Mutternuklids um jeweils zwei, was eine Verringerung der Massenzahl A um vier zur Folge hat. Insbesondere schwere Atomkerne mit einer Massenzahl $A > 200$ unterliegen dem Alpha-Zerfall. Die dabei entstehende ionisierende Teilchenstrahlung wird als Alphastrahlung bezeichnet. Die Zerfallsgleichung lautet wie folgt:



Der Alpha-Zerfall wird als nicht-isobarer Zerfall klassifiziert, da sich sowohl die Kernladungszahl Z als auch die Massenzahl A verändern. Alpha-Zerfälle haben ihre Ursache in der starken Wechselwirkung (vgl. Krieger, 2023, S. 101).

Leichtere Radionuklide durchlaufen fast immer einen Beta-Zerfall, der entweder als Beta-Minus-Zerfall oder als Beta-Plus-Zerfall erfolgt. Anders als beim Alpha-Zerfall treten hierbei Teilchenumwandlungen auf (vgl. Krieger, 2023, S. 101). Beim Beta-Minus-Zerfall wird ein Neutron in ein Proton umgewandelt (vgl. Vogt & Vahlbruch, 2019, S. 12). Gemäß der Ladungserhaltung, die besagt, dass sich die Ladung innerhalb eines physikalischen Prozesses nicht ändern darf, wird bei dem Zerfallsprozess zusätzlich ein Elektron emittiert. Darüber hinaus erfordert das Gesetz der Energie- und Drehimpulserhaltung die Emission eines Elektron-Antineutrinos (vgl. Krieger, 2023, 106 f.). Die entsprechende Zerfallsgleichung lautet:



Beim Beta-Plus-Zerfall erfolgt eine Umwandlung des Protons in ein Neutron, wobei gemäß den Erhaltungssätzen ein Positron und ein Elektron-Neutrino emittiert werden. Dieser Zerfall ist vorwiegend bei künstlich erzeugten Radionukliden zu beobachten (vgl. Vogt & Vahlbruch, 2019, S. 12). Die entsprechende Zerfallsgleichung lautet:



Bei Beta-Zerfällen ändert sich die Kernladungszahl Z und die Neutronenzahl N des zerfallenden Nuklids, während die Massenzahl A unverändert bleibt. Daher kann von einem isobaren Zerfall gesprochen werden (vgl. Krieger, 2023, S. 107). Die beim Zerfall

entstehende ionisierende Teilchenstrahlung wird als Betastrahlung bezeichnet. Beta-Zerfälle haben ihre Ursache in der schwachen Wechselwirkung (vgl. Krieger, 2023, S. 101).

Nach einem Alpha-Zerfall oder Beta-Zerfall befinden sich Radionuklide häufig in einem instabilen, energetisch angeregten Zustand. Durch die Emission von hochenergetischer Photonenstrahlung, den Gammaquanten, können die angeregten Atomkerne durch eine oder mehrere Gammaemissionen in den Grundzustand des Folgekerns übergehen. Infolgedessen wird Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung, die als Gammastrahlung bezeichnet wird, frei, die typischerweise eine Energie zwischen wenigen Kiloelektronenvolt und mehreren Megaelektronenvolt aufweist (vgl. Krieger, 2023, S. 119). Die zugehörige Gleichung lautet:



Abschließend sei bemerkt, dass der Alpha-Zerfall und die Beta-Zerfälle die Entstehung eines Nuklids eines anderen Elements zur Folge haben, da sich hierbei die Protonenzahl im Kern verändert. Im Falle der Emission von Gammaquanten liegt kein Kernzerfall im Sinne einer Transmutation vor, da Gammaquanten zur elektromagnetischen Strahlung zählen und lediglich eine Änderung des Energiezustands des Kerns bedingen. Es entsteht somit kein Nuklid eines anderen Elements, da sich weder die Anzahl der Protonen noch die der Neutronen im Kern ändert. Stattdessen kann ein neues Nuklid desselben Elements entstehen, wenn der Kern von einem angeregten in einen stabileren Zustand übergeht (vgl. Krieger, 2023, S. 118). Die Emission von kurzwelligen, hochenergetischen Gammaquanten ist eine sekundäre Folge radioaktiver Zerfälle und resultiert aus der Relaxation energiereicher Zwischenzustände des neu entstandenen Nuklids.

2.1.2 Detektion ionisierender Strahlung mit dem Geiger-Müller-Zählrohr

Das Geiger-Müller-Zählrohr gilt als robustes Gerät zum Nachweis ionisierender Strahlung. Es besteht aus einem Metallrohr, das mit einem Edelgas, in der Regel Argon oder Neon, befüllt ist und als Kathode dient. An einer Seite des Zählrohrs befindet sich ein Endfenster, das meist mit einer Glimmerfolie versehen ist, durch das Strahlung eintreten kann. Entlang der zentralen Achse des Zählrohrs verläuft im Inneren ein Wolframdraht, der als Anode fungiert. Zwischen der Anode und der Kathode ist eine Spannung angelegt, wodurch ein elektrisches Feld um den Draht erzeugt wird (vgl. Korff, 2012, 271 f.). Des Weiteren werden bei Auslösezählrohren zur Beendigung des Entladungsvorgangs Löschzusätze zum Füllgas beigefügt. Diese bewirken eine kurzzeitige Verringerung der Spannung am Zählrohr. In der Regel werden als Löschzusätze Halogene oder Ethylalkohole verwendet. Alternativ kann der Entladungsvorgang auch durch eine elektronische Schaltung unterbrochen werden (vgl. Vogt & Vahlbruch, 2019, 129 f.).

Wenn ionisierende Strahlung durch das Glimmerfenster in das Innere des mit Gas gefüllten Zählrohrs eintritt, ionisiert sie die Gasatome. Bei diesem Ionisationsprozess entstehen positiv geladene Gasionen sowie freie Elektronen. Die freien Elektronen werden durch das elektrische Feld zwischen Kathode und Anode zur Anode hin beschleunigt. Während die Elektronen zum positiv geladenen Wolframdraht hingezogen werden, stoßen sie mit weiteren Gasatomen zusammen und ionisieren diese. Hierbei spricht man von einer Elektronenkaskade, wobei Sekundärelektronen entstehen. Es genügt bereits ein einziges primäres Elektron, um eine Kaskade auszulösen. Die Gasionen werden zur negativ geladenen Kathode, das heißt zur Metallwand des Zählrohrs, hin beschleunigt. Der Strom aus freien Elektronen zur Anode und positiven Gasionen zur Kathode erzeugt einen Stromimpuls, der elektronisch verstärkt, gemessen und als Impuls registriert wird (vgl. Korff, 2012, 271 f.). Die Anzahl der Impulse entspricht der Anzahl der durch das Zählrohr detektierten ionisierenden Ereignisse und kann durch den Einbau eines akustischen Verstärkers im Geigerzähler als Knacken bzw. Ticken wahrgenommen werden.

Die Höhe des Ausgangspulses ist unabhängig von der Art und Energie der eintretenden Strahlung, sodass der Geiger-Müller-Zähler lediglich die Anzahl der einfallenden Teilchen messen kann, jedoch nicht deren Energie (vgl. Demtröder, 2017, S. 92). Daher ist

es nicht möglich, ohne genaue Kenntnis und Kalibration der Zusammensetzung und Geometrie einer unbekannt Probe, die Aktivität einer radioaktiven Quelle quantitativ zu bestimmen. Der Geiger-Müller-Zähler eignet sich jedoch zum schnellen Auffinden von Quellen hoher Aktivität, sowie zur semi-quantitativen Einschätzung der Aktivität einer Quelle.

2.2 Radioaktivität im Unterricht der Sekundarstufe I

Gemäß dem Erlass des Niedersächsischen Kultusministeriums vom 01.08.2021 erwerben die Schülerinnen und Schüler im Rahmen des Lehrplans für den Doppeljahrgang 9 und 10 zum Thema Atom- und Kernphysik ein vertieftes Verständnis der grundlegenden Konzepte und Modelle. Die Bildungsstandards im Fach Physik gliedern sich in vier Kompetenzbereiche: Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung.

Im Bereich des Fachwissens ist die Beschreibung des Kern-Hülle-Modells des Atoms sowie die Erläuterung des Begriffs Isotop ein zentrales Ziel. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Stabilität von Atomkernen, welche mithilfe der Kernkraft interpretiert wird. Weiterhin wird die ionisierende Wirkung von Kernstrahlung und ihr stochastischer Charakter ausführlich behandelt. Dabei lernen die Schülerinnen und Schüler, wie sowohl natürliche als auch künstliche Strahlung nachgewiesen werden können. In diesem Kontext wird ihnen auch der Aufbau und die Funktionsweise eines Geiger-Müller-Zählrohrs vermittelt. Die Unterscheidung zwischen Alpha-, Beta- und Gammastrahlung erfolgt anhand ihres Durchdringungsvermögens, und die Entstehung der Strahlung wird modellhaft beschrieben. Im Zuge dessen sollen die Schülerinnen und Schüler anhand dieser Erkenntnisse Strahlenschutzmaßnahmen erläutern. Weiterhin unterscheiden die Schülerinnen und Schüler die Energiedosis von der Äquivalentdosis und geben die Einheit der Äquivalentdosis an. Die zuletzt genannten Kompetenzen, die sich die Schülerinnen und Schüler im Bereich des Fachwissens aneignen sollen, sind die Erläuterung des radioaktiven Zerfalls eines Stoffes unter Verwendung des Begriffs Halbwertszeit sowie die Erklärung der Prozesse der Kernspaltung und der Kettenreaktion.

Im Bereich der Erkenntnisgewinnung ist es das Ziel, dass die Schülerinnen und Schüler das Phänomen der Ionisation mithilfe des Kern-Hülle-Modells deuten. Die biologische

Wirkung ionisierender Strahlung und deren medizinische Anwendungen werden ebenfalls beschrieben. Darüber hinaus werden die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen UV-, Röntgen- und Gammastrahlung und sichtbarem Licht analysiert, insbesondere hinsichtlich ihrer biologischen Wirkung. Eine weitere wichtige Aufgabe besteht darin, die Abklingkurve radioaktiver Stoffe grafisch darzustellen.

Im Kompetenzbereich Kommunikation wird von den Schülerinnen und Schülern erwartet, dass sie in der Lage sind, eigenständig zu recherchieren und ihre Ergebnisse adressatengerecht zu präsentieren.

Zum Kompetenzbereich Bewertung gehört, dass Schülerinnen und Schüler ihr Wissen nutzen, um mögliche Gefährdungen durch Kernstrahlung zu erkennen und diese zu begründen. Anhand von Beispielen sollen sie die Grenzen physikalischer Sichtweisen aufzeigen und ihr Wissen nutzen, um bei Fragen zur Entsorgung von radioaktivem Abfall Stellung zu nehmen. Ein weiteres Augenmerk liegt auf der Bewertung der Auswirkungen der Entdeckung der Kernspaltung im gesellschaftlichen Kontext. Die Schülerinnen und Schüler sollen die gesellschaftlichen Implikationen und die physikalischen Grenzen begründeter Entscheidungen verstehen und benennen können (vgl. Kerncurriculum mit pandemiebedingten Hinweisen und Priorisierungen Naturwissenschaften Gymnasium-Sek. I, 2021, S. 41).

Dieser Überblick verdeutlicht die Komplexität und die Tiefe der inhaltsbezogenen und prozessbezogenen Kompetenzen, die im Themenbereich der Atom- und Kernphysik in der Doppeljahrgangsstufe 9 und 10 vermittelt werden.

Neben der Vermittlung fachlichen Wissens zum Thema ist die Förderung prozessbezogener Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung, der Kommunikation und der Bewertungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler von entscheidender Bedeutung.

2.3 Risikowahrnehmung in Bezug auf Radioaktivität

Die Wahrnehmung von Risiken im Zusammenhang mit Radioaktivität hat sich nach den Kernreaktorkatastrophen von Tschernobyl und Fukushima erheblich verändert und die öffentliche Meinung nachhaltig negativ geprägt (vgl. Michel, 2015, 20 ff.; vgl. Slovic, 2012, 68 f.). Der Begriff „Risiko“ ist vielschichtig und historisch gewachsen, wobei er einen grundlegenden Bestandteil des menschlichen Lebens darstellt (vgl. Basel & Henrizi, 2023, S. 42). Ursprünglich aus dem Italienischen „risico“ entlehnt, wurde der Begriff bereits im 16. Jahrhundert verwendet, um kaufmännische Gefahren und unvorhersehbare Wagnisse zu beschreiben (vgl. Wälder & Wälder, 2017, 1 f.).

Heute wird der Risikobegriff in verschiedenen Kontexten unterschiedlich interpretiert, weshalb keine einheitliche Definition existiert. In jedem Fall kann sich der Begriff jedoch auf jede Phase eines Ursache-Wirkungs-Zusammenhangs beziehen (vgl. Basel & Henrizi, 2023, S. 13).

In wissenschaftlichen Disziplinen sind die folgenden fünf Dimensionen von Risiko am gebräuchlichsten (vgl. Basel & Henrizi, 2023, S. 14):

1. Risiko als unerwünschtes Ereignis, das eintreten oder nicht eintreten kann. Beispiele sind eine Naturkatastrophe, Verkehrsunfälle oder Erkrankungen.
2. Risiko als Ursache eines unerwünschten Ereignisses. Ein Beispiel ist das Rauchen, das als Gesundheitsrisiko bezeichnet werden kann.
3. Risiko als Eintrittswahrscheinlichkeit eines unerwünschten Schadens. Zum Beispiel gelten einige Lebensmittel als krebserregend und können die Wahrscheinlichkeit, an Krebs zu erkranken, erhöhen.
4. Risiko als Tatsache einer Entscheidung unter der Bedingung bekannter Wahrscheinlichkeiten.
5. Der statistische Erwartungswert eines unerwünschten Ereignisses. Diese Definition ist in vielen technischen und ökonomischen Disziplinen grundlegend. Risiko wird hier als Erwartungswert verstanden, der aus dem Produkt der

Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. -häufigkeit eines Ereignisses und seines Schadensausmaßes bzw. der Ereignisschwere gebildet wird.

Die naturwissenschaftliche Definition beschreibt Risiko als das Produkt aus der Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Ereignisses und dem Schadensausmaß (vgl. Michel, 2015, S. 4):

$$\text{„Risiko} = \text{Wahrscheinlichkeit} \times \text{Schaden“}.$$

In der allgemeinen Bevölkerung geht die Risikowahrnehmung jedoch über eine rein analytische Betrachtung hinaus, wie es gemäß der naturwissenschaftlichen Definition üblich ist. Emotionale und symbolische Faktoren sowie kulturelle Einflüsse prägen die Bewertung und Einschätzung von Risiken (vgl. Basel & Henrizi, 2023, S. 172) Psychologische und soziale Faktoren, wie die Neuheit des Risikos, die Unmittelbarkeit der Bedrohung und die potenzielle Schwere der Konsequenzen, beeinflussen stark, wie bedrohlich ein Risiko wahrgenommen wird (vgl. Basel & Henrizi, 2023, S. 78). Besonders relevant ist das Gefühl der Kontrolle über das Risiko; je weniger kontrollierbar es erscheint, desto bedrohlicher wird das Risiko empfunden (vgl. Basel & Henrizi, 2023, S. 10 f.). Umfangreiche Berichterstattung der Medien über ein Ereignis kann eine höhere Wahrnehmung eines Risikos und eine Verstärkung der Auswirkungen bewirken, wodurch eine verzerrte Risikowahrnehmung in der Öffentlichkeit verstärkt werden kann (vgl. Basel & Henrizi, 2023, S. 149; vgl. Michel, 2015, S. 9).

Ein weiteres entscheidendes Merkmal für die Risikowahrnehmung, auch im Zusammenhang mit Radioaktivität ist die erheblich variierende Wahrnehmung zwischen Laien und Experten. Während die allgemeine Öffentlichkeit kerntechnische Anlagen oft als besonders gefährlich einstuft, bewerten Experten das Risiko in der Regel moderater (vgl. Basel & Henrizi, 2023, S. 46). Diese Diskrepanz lässt sich auf unterschiedliche Wissens- und Informationsgrundlagen sowie auf verschiedene Erfahrungen und Kompetenzen der beiden Gruppen zurückführen (Basel & Henrizi, 2023, S. 139). Laut Slovic (2012, S. 67) neigt die Öffentlichkeit dazu, die Risiken von Kernenergie und nuklearen Abfällen zu überschätzen, während sie die Gefahren von medizinischen Röntgenstrahlen und Radon unterschätzt.

3 Forschungsmethodik

3.1 Entwicklung des Fragebogens

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wie sich die Risikowahrnehmung von Schülerinnen und Schülern bezüglich ionisierender Strahlung durch die Messung von Radioaktivität in Umwelt- und Alltagsproben verändert, wurde ein standardisierter Fragebogen entwickelt. In der quantitativen empirischen Forschung sind Fragebögen eine zentrale Methode, die eine effiziente Erfassung vielfältiger Sachverhalte ermöglichen (vgl. Reinders et al., 2022, S. 161). Der vorliegende Fragebogen besteht aus einer Reihe von Fragen und Aufgaben, die als Items bezeichnet werden und folgt einem Pretest-Posttest-Design (vgl. Bühner, 2021, S. 14). Dieses Design zielt darauf ab, Veränderungen in den Antworten der Teilnehmenden nach der Experimentiereinheit im Vergleich zum Vortest zu analysieren. Die Bearbeitungsdauer des Fragebogens ist auf fünf bis zehn Minuten ausgelegt.

Im Rahmen der Konzeptualisierung des Fragebogens wurden zur Beantwortung der Forschungsfrage folgende Untersuchungsziele festgelegt:

- Die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit einer Exposition durch Radioaktivität.
- Die Einschätzung der Gefahr durch Radioaktivität.
- Die Überprüfung des Wissenstandes zu ionisierender Strahlung.
- Die Einschätzung der Menge an Radioaktivität in verschiedenen Proben anhand von Merkmalen.

Um diese Untersuchungsziele zu erreichen, wurden in Orientierung an das niedersächsische Kerncurriculum für den Doppeljahrgang 9 und 10 zum Thema Atom- und Kernphysik folgende Items im Fragebogen formuliert:

1. Die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit einer Exposition durch Radioaktivität:

- Item: „Wie hoch schätzt du die Wahrscheinlichkeit ein, in deinem Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein?“

2. Einschätzung der Gefahr durch Radioaktivität:

- Item: „Die Gefahr, die durch Radioaktivität ausgeht, schätze ich im Alltag als groß ein.“
- Item: „Die Auswirkungen von Radioaktivität im Vergleich zu anderen Risiken wie Rauchen oder Autofahren schätze ich im Alltag als groß ein.“

3. Überprüfung des Wissensstandes zu ionisierender Strahlung:

- Item: „Mein Kenntnisstand über Radioaktivität garantiert mir den Erfolg in einer Klausur zum Thema.“
- Item: „Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung?“
- Item: „Radioaktivität erkenne ich an...“

4. Einschätzung der Menge an Radioaktivität in verschiedenen Proben anhand von Merkmalen:

- Item: „Wie hoch schätzt du die Menge an Radioaktivität in den Proben ein?“

Vor dem inhaltlichen Einstieg wurden die Schülerinnen und Schüler dazu angehalten, einen individuellen Code zur Pseudonymisierung zu erstellen. Einerseits ermöglicht dieser Code die Zuordnung der Ergebnisse des Vor- und Nachtests und bietet andererseits die Möglichkeit, die Anonymität der Teilnehmenden zu wahren. Nach der Erstellung des Pseudonyms wurde zudem das Geschlecht der Teilnehmenden abgefragt, wobei die Kategorien „männlich“, „weiblich“ und „keine Angabe“ zur Auswahl standen. Die Erhebung des Geschlechts als soziodemografische Variable ist von Bedeutung, um mögliche geschlechtsspezifische Unterschiede in den Ergebnissen der Auswertung zu erkennen. Im Folgenden sind die zu den Untersuchungszielen erstellten Fragen dargestellt.

Einschätzung der Wahrscheinlichkeit einer Exposition durch Radioaktivität

Der Fragebogen zum Thema Radioaktivität begann mit einem Einstiegsbereich der als Aktivierung der Lernenden und Einführung in das Thema dient. Das erste Item lautet: „Wie hoch schätzt du die Wahrscheinlichkeit ein, in deinem Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein?“. Die Beantwortung dieser Frage erfolgte anhand einer visuellen Analogskala. Eine Analogskala stellt eine Linie dar, deren Endpunkte entgegengesetzte Extreme präsentieren (vgl. Bühner, 2021, S. 56). Anhand der Skala konnten die Lernenden ihre subjektive Bewertung zwischen „0 %“ und „100 %“ durch Ankreuzen abgeben. Die Auswertung wurde durchgeführt, indem die abgegebenen Einschätzungen in 5 %-Schritten kategorisiert wurden. Das Item kann dem Kompetenzbereich *Bewertung* des Kerncurriculums entnommen werden.

Einschätzung der Gefahr durch Radioaktivität

Nach dem Einstiegsbereich widmet sich der nächste Themenblock der Bewertung der Gefährdung durch Radioaktivität, der sich ebenfalls auf die prozessbezogenen Kompetenz *Bewertung* bezieht. Konkret geht es dabei um den Aspekt: „Die Schülerinnen und Schüler nutzen dieses Wissen, um eine mögliche Gefährdung durch Kernstrahlung zu begründen“ (vgl. Kerncurriculum mit pandemiebedingten Hinweisen und Priorisierungen Naturwissenschaften Gymnasium-Sek. I, 2021, S. 41). Zwei Items erfassten hierbei die Gefahrenwahrnehmung:

- „Die Gefahr, die durch Radioaktivität ausgeht, schätze ich im Alltag als groß ein.“
- „Die Auswirkungen von Radioaktivität im Vergleich zu anderen Risiken wie Rauchen oder Autofahren schätze ich im Alltag als groß ein.“

Die Evaluierung beider Items erfolgte anhand einer gebundenen Antwortskala von 1 („stimme gar nicht zu“) bis 5 („stimme voll und ganz zu“). Bei diesem Skalentyp handelt es sich um eine fünfstufige Likert-Skala mit äquidistanten Abständen, welche zur Messung von Einstellungen dient. Jede Stufe der Likert-Skala wird als Likert-Typ-Item bezeichnet (vgl. Bühner, 2021, S. 21). Eine höhere Antwortkategorie zeigt eine stärkere

Merkmalsausprägung (vgl. Bühner, 2021, S. 50). Des Weiteren bietet die Verwendung der Likert-Skala den Vorteil, dass der gesamte kontinuierliche Messbereich eines Konstrukts abgedeckt wird, ohne dass eine Region ausgelassen wird. Sowohl die Durchführung als auch der Auswertungsprozess ermöglichen eine effiziente und differenzierte Information über die Ausprägung eines Merkmals (vgl. Bühner, 2021, 15, 47).

Überleitung von der Einschätzung der Gefahr durch Radioaktivität zur Überprüfung des Wissenstandes zu ionisierender Strahlung

Im Anschluss an den Themenblock zur Gefahrenbewertung wurde ein Item zur Einschätzung des eigenen Kenntnisstandes konzipiert. Das dazugehörige Item zur Selbsteinschätzung lautet: „Mein Kenntnisstand über Radioaktivität garantiert mir den Erfolg in einer Klausur zum Thema.“ Auch dieses Item wird auf einer fünfstufigen Likert-Skala bewertet.

Überprüfung des Wissenstandes zu ionisierender Strahlung

Der anschließende Themenblock zielte darauf ab, einen genauen Einblick in den tatsächlichen Wissensstand der Schülerinnen und Schüler zu erhalten. Die Wissensfragen wurden so konzipiert, dass sie auf das Kompetenzniveau der Zielgruppe abgestimmt waren und unterschiedliche Schwierigkeitsgrade abdeckten, um eine differenzierte Erfassung der Wissensleistung zu ermöglichen (vgl. Bühner, 2021, S. 65 f., 89). Weiterhin wurde darauf geachtet, die Fragen mit einem möglichst kurzen, präzisen und sprachlich simplen Fragestamm zu formulieren. Die Antwortmöglichkeiten wurden möglichst kurz gehalten und richtige bzw. falsche Antwortmöglichkeiten abwechselnd angeordnet. Zudem wurden Distraktoren, also falsche Antwortmöglichkeiten, so gestaltet, dass sie nicht unmittelbar als solche erkennbar sind, und häufige Fehler oder Missverständnisse in die Antwortmöglichkeiten integriert (vgl. Bühner, 2021, S. 68–71).

Die Schülerinnen und Schülern wurden bewusst nicht darüber informiert, ob es sich um eine Single-Choice- oder Multiple-Choice-Aufgaben handelt. Stattdessen wurden die

Wissensfragen lediglich mit der Kennzeichnung „mehrere Antworten möglich“ versehen.

Das erste Wissens-Item bezog sich auf den Kompetenzbereich *Fachwissen*, hinsichtlich des Unterpunktes, der das Unterscheiden von Alpha-, Beta- und Gammastrahlung sowie die modellhafte Beschreibung ihrer Entstehung umfasst (vgl. Kerncurriculum mit pandemiebedingten Hinweisen und Priorisierungen Naturwissenschaften Gymnasium-Sek. I, 2021, S. 41). Die Frage lautet: „Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung?“, mit den Antwortmöglichkeiten: „Alphastrahlung“, „sichtbares Licht“, „Betastrahlung“, „Gammastrahlung“, „Funkstrahlung“ und „Radiostrahlung“.

Ein weiteres Item befasste sich mit den Merkmalen von Radioaktivität und gehört ebenfalls zum Kompetenzbereich *Fachwissen*. Es erweiterte sich um den Unterpunkt, der sich mit den natürlichen und künstlichen Strahlungsquellen befasst (vgl. Kerncurriculum mit pandemiebedingten Hinweisen und Priorisierungen Naturwissenschaften Gymnasium-Sek. I, 2021, S. 41). Die Frage lautet: „Radioaktivität erkenne ich an...“ Die Antwortoptionen umfassen: „ein charakteristisches gelb- und/oder grünes Leuchten“, „eine hohe chemische Reaktivität“ und „es gibt keine äußerlichen Merkmale“.

Die letzte Frage des Themenblocks zum Wissensstand der Schülerinnen und Schüler ist nicht explizit im Kerncurriculum aufgeführt, lässt sich jedoch indirekt aus dem Unterpunkt des Kompetenzbereiches *Fachwissen* ableiten: „Die Schülerinnen und Schüler beschreiben den radioaktiven Zerfall unter Verwendung des Begriffes Halbwertszeit“ (vgl. Kerncurriculum mit pandemiebedingten Hinweisen und Priorisierungen Naturwissenschaften Gymnasium-Sek. I, 2021, S. 41). Das dazugehörige Item lautet: „Radioaktivität erkenne ich an...“, mit den Antwortmöglichkeiten: „Anzahl von Kernzerfällen pro Zeiteinheit“, „Dichte eines radioaktiven Präparates“, „Halbwertszeit eines radioaktiven Präparates“ und „Anzahl der gemessenen Counts pro Sekunde im Detektor“.

Einschätzung der Menge an Radioaktivität in verschiedenen Proben anhand von Merkmalen

Die abschließende Frage des Fragebogens fokussierte sich auf die Einschätzung der Radioaktivitätsmenge in verschiedenen Proben. Den Teilnehmenden wurden hierzu Bilder von drei verschiedenen Objekten gezeigt. Dazu gehörten eine Armbanduhr mit Leuchtzifferblättern, ein Kompass mit Leuchtfarben und eine Uranglasschale. Die Proben wurden mit dem Hinweis versehen, dass sie ein charakteristisches gelb-grünes Leuchten aufweisen. Die Einschätzungsfrage lautet: „Wie hoch schätzt du die Menge an Radioaktivität in den Proben ein?“

Die Antworten werden auf einer fünfstufigen Likert-Skala von 1 („gar keine“) bis 5 („sehr hoch“) erfasst. Diese Frage hatte den Zweck, zu ermitteln, ob bestimmte visuelle Merkmale, wie das gelb-grüne Leuchten eines Objekts, mit einer hohen Radioaktivitätsmenge assoziiert werden.

Der Zweck des konzipierten Fragebogens ist es, anhand der formulierten Items ein umfassendes Bild über die allgemeine Risikowahrnehmung zu gewinnen, wobei die Fragen als Mittel zur Identifizierung übergeordneter Zusammenhänge und Strukturen zu verstehen sind. Der konzipierte Fragebogen ist Anhang A.1 zu entnehmen.

3.2 Beschreibung und Rekrutierung des Samples

Die Auswahl der Stichprobengruppe erfolgte durch direkte Anfragen an Schulen im Großraum Hannover sowie an Schulen im Landkreis Wolfenbüttel, in der Nähe der Schachtanlage Asse.

Die Stichprobengruppe bestand insgesamt aus 228 Schülerinnen und Schülern aus den Jahrgangsstufen 9 und 10, verteilt auf drei Schulen:

- Schule A: Eine integrierte Gesamtschule im Landkreis Wolfenbüttel.
- Schule B: Ein Gymnasium in der Stadt Hannover.
- Schule C: Ein Gymnasium in der Stadt Hildesheim.

Insgesamt nahmen am Erhebungsverfahren 148 Schülerinnen und 80 Schüler vollständig teil, wobei nur diejenigen berücksichtigt wurden, die sowohl am Vor- als auch am Nachtest teilgenommen haben. Schülerinnen und Schüler, die lediglich an einem der beiden Tests teilgenommen haben, wurden aus der Auswertung ausgeschlossen. Tabelle 1 zeigt die (Geschlechter-) Verteilung der Stichprobengruppe nach Schulen:

Tabelle 1: (Geschlechter-) Verteilung der Schülerinnen und Schüler pro Schule.

Schule	Häufigkeit			Prozent		
	männlich	weiblich	gesamt	männlich	weiblich	gesamt
Schule A	8	15	23	34,8 %	65,2 %	10,1 %
Schule B	26	47	73	35,6 %	64,4 %	32,0 %
Schule C	46	86	132	34,8 %	65,2 %	57,9 %
Gesamt	80	148	228	35,1 %	64,9 %	100 %

3.3 Beschreibung der Messeinheit

Radioaktivität lässt sich nicht mit den Sinnen wahrnehmen. Im schulischen Kontext gestaltet sich die Durchführung von Experimenten oft schwierig, da sowohl die Ressourcen als auch die Zeit knapp bemessen sind und zudem strenge rechtliche Vorschriften den Umgang mit radioaktiven Präparaten in der Schule regeln. Daher bleibt meist nur Raum für theoretische Betrachtungen, wodurch vielen Lernenden das Bewusstsein für das Ausmaß der Radioaktivität in ihrer natürlichen Umgebung fehlt. Die Experimentiereinheit zum Thema Umweltradioaktivität soll den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geben, sich mit der Frage auseinanderzusetzen, wo und in welchem Ausmaß Radioaktivität in der Umwelt vorkommt.

Um diese Fragestellung zu untersuchen, wurde in insgesamt dreizehn Lerngruppen eine 90-minütige Experimentiereinheit zum Thema Umweltradioaktivität durchgeführt. Die Einheit wurde von Herrn Dr. Wolfgang Schulz, der als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Radioökologie und Strahlenschutz der Leibniz Universität Hannover tätig ist,

angeleitet. Der Schwerpunkt der Experimentiereinheit lag dabei auf einer praktischen Erkundung zum Thema Radioaktivität anstelle einer reinen Vermittlung theoretischen Wissens.

Zu Beginn der Experimentiereinheit wurden die verschiedenen Proben kurz vorgestellt, oft begleitet von Erklärungen zu ihrem Ursprung oder ihrer Verwendung. Jede Schülerin bzw. jeder Schüler erhielt nacheinander eine Probe und gab eine vorläufige, rein intuitive Einschätzung der zu erwartenden Radioaktivitätsmenge ab. Diese initiale Einschätzung diente als Vergleichsgrundlage für die später gemessenen Werte. Abbildung 1 und 2 zeigen die Vorbereitung der Proben zur späteren Anordnung durch die Schülerinnen und Schüler.

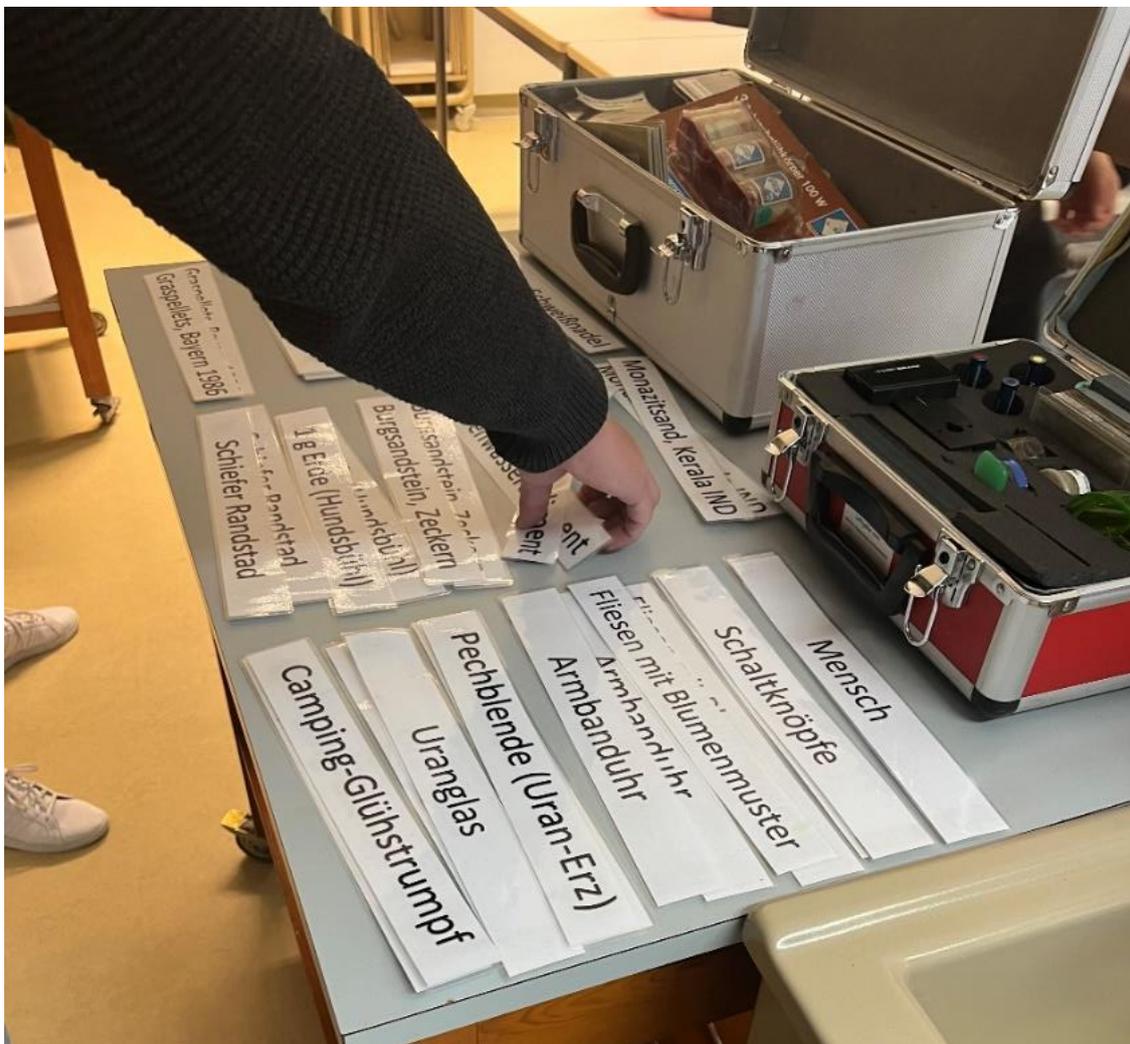


Abbildung 1: Vorbereitung der Proben zur Erstellung einer Rangfolge.

Quelle: Eigene Darstellung.



Abbildung 2: Weitere Proben der Messeinheit.

Quelle: Eigene Darstellung.

In Tabelle 2 findet sich eine detaillierte Übersicht über die von den Schülerinnen und Schülern untersuchten Proben. Aufgeführt ist dabei das dominierende Nuklid in jeder Probe, also das Nuklid, das innerhalb der jeweiligen Probe die höchste Konzentration aufweist. Vorbereitend auf die Schulbesuche wurden die Zählraten (Counts per Second) zum Abgleich bereits vorab mit einem Geiger-Müller-Zählrohr gemessen.

Die Durchführung der Messeinheiten folgte in den verschiedenen Lerngruppen nicht immer einem einheitlichen Ablauf, was zur Folge hatte, dass einige Proben nicht berücksichtigt und andere mit einbezogen wurden.

Tabelle 2: Auflistung der verwendeten Proben.

Probe	Dominierendes Nuklid	Counts per Second
Sediment von Grubenwasser, Kamp-Lintfort	U-238/Ra-226	5
Flussufersand, Christinovka (Ukraine)	Cs-137	2
Braunkohle, Tagebau Wackersdorf	U-238	2
Lenkteich Sediment, Lenzenfeld (Sachsen)	U-238/Ra-226	5
Sand Lagune, Bikini-Atoll	Cs-137	1
Bravokrater Sediment, Bikini-Atoll	Cs-137	1
Dunkle Erdölablagerungen aus Rohrleitungen	Ra-226	23
Granit mit Pechblendeeinschlüssen, Oberpfalz	U-238	5
Schiefer, Randstad	U-238	3
Rohphosphatdünger	U-238	3
Kaliumchlorid (0,95 g)	K-40	3
1 g Erde, Hundsbühl	U-238	15
Graspellets, Bayern (1986)	Cs-137	2
Thorium Schweißnadeln	Th-232	14
Inkrustierungen Steinkohlebergbau	U-238/Ra-226	3
Uranglasperlen	U-238	21
Schraubglühkörper	Th-232	119
Paranüsse	Ra-226	1
Armbanduhr	Ra-226	50
Schaltknöpfe mit Leuchtpunkten	Ra-226	142
Glühstrümpfe	Th-232	104

Steinkohle	U-238	6
Pottasche 1 Stk.	K-40	7
Burgsandstein, Zeckern	U-238	4
Granit mit Torbenitein- schlüssen, Fichtelgebirge	U-238	4
Granit, Bado Ling (China)	U-238	1
Schwermineralkonzentrat	Th-232	2
Monazitsand, Kerala (In- dien)	Th-232	131
Pechblende	U-238	65
Italienische Fliese	U-238	182
Uranglassschale	U-238	30

Nach Erstellung einer Rangfolge zur Einschätzung der Menge an Radioaktivität in den Proben wurden die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen aufgeteilt. Hierbei erhielt jede Gruppe einen eigenen Handinspektor der Firma Radiation Alert, ausgestattet mit einem Geiger-Müller-Zählrohr zur Detektion von Alpha-, Beta-, Gamma- und Röntgenstrahlung. Die verschiedenen Proben wurden auf einem Tisch platziert, sodass die einzelnen Gruppen die Messungen an den Proben nacheinander durchführen konnten. Zur Messung der Menge an Radioaktivität in den Proben wurde der Messmodus Counts per Second (CPS) gewählt, der die Zählrate anzeigt. Den Lernenden wurde dabei erklärt, dass CPS keine Einheit zur Messung der Aktivität eines radioaktiven Präparates darstellt, sondern lediglich einen semi-quantitativen Hinweis auf vorhandene Radioaktivität gibt.

Die Messwerte wurden während der Messung akustisch verfolgt und nach einer Messdauer von 30 Sekunden auf der LC-Anzeige des Inspektors abgelesen. Den Schülerinnen und Schülern wurde als Ziel der Messungen vorgegeben, für jede Probe eine Messposition mit möglichst hohem Messwert zu finden. Die Ergebnisse wurden schließlich von den Schülerinnen und Schülern dokumentiert.

Nach den Messungen wurde auf Basis der notierten Messwerte eine semi-quantitative Rangordnung der Proben erstellt. Die Einordnung der CPS erfolgte in Kategorien von

„wenig“ Radioaktivität bis „viel“ Radioaktivität. Da die Messwerte für die Proben zwischen den Gruppen variierten, wurden die Ergebnisse in Intervalle statt eines exakten Wertes eingeordnet. Einige der untersuchten Proben wiesen für die Lernenden überraschende Ergebnisse auf. Die Ergebnisse werden in Abschnitt 4.1 präsentiert.

Nach der Erstellung der messwertbasierten Rangordnung diskutierten die Schülerinnen und Schüler über für sie überraschende Ergebnisse und stellten dazu Hypothesen auf. In einer offenen Fragerunde zum Thema wurden die gemessenen Mengen an Radioaktivität im Kontext von bekannten Gefahren wie Kernreaktorkatastrophen oder der Lagerung von radioaktiven Präparaten in Castoren eingeordnet.

Die Experimentiereinheit zum Thema Umweltradioaktivität ermöglichte den Schülerinnen und Schülern eine praxisnahe Vertiefung ihres Verständnisses von Radioaktivität und deren Nachweis. Des Weiteren lernten sie, wie man Strahlung misst und entwickelten ein Bewusstsein für die allgegenwärtige Präsenz von Radioaktivität in Umwelt- und Alltagsgegenständen. Die Tafelbilder weiterer Lerngruppen sind im Anhang A.4 angeführt.

3.4 Durchführung der Umfrage

Die Umfrage, die in die Experimentiereinheit zum Thema Umweltradioaktivität eingebettet ist, folgt einem Pretest-Posttest-Design. Der Vortest wurde in einer regulären Unterrichtsstunde vor der Experimentiereinheit unter Anleitung der zuständigen Lehrkräfte durchgeführt. Im Anschluss an die Experimentiereinheit wurde der Nachtest durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte mittels der Paper-Pencil-Methode. Aufgrund organisatorischer Gegebenheiten fanden der Vor- und Nachtest meist an unterschiedlichen Tagen statt, sodass einige Schülerinnen und Schüler lediglich an einem der beiden Tests teilnahmen.

Vor Beginn des Erhebungsverfahrens wurden die jeweiligen Schulleitungen schriftlich über die Modalitäten der Datenerhebung, die Durchführung der Erhebung sowie die Nutzung der Daten informiert. Die Durchführung des Erhebungsverfahrens wurde seitens der Schulleitungen schriftlich genehmigt. Des Weiteren wurde den Schulleitungen auf

Nachfrage eine Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen in Schulen sowie allgemeinen Maßnahmen ausgehändigt. Die entsprechenden Dokumente befinden sich im Anhang A.2 und Anhang A.3.

3.5 Datenanalyse

Im vorliegenden Kapitel wird die methodische Vorgehensweise der statistischen Datenanalyse beschrieben. Die Zielsetzung besteht in der systematischen Auswertung der quantitativen Daten sowie der Überprüfung wesentlicher Hypothesen zur Beantwortung der Forschungsfrage. Im Rahmen der Datenanalyse werden sowohl deskriptive (beschreibende) als auch inferenzstatistische (schließende) Verfahren eingesetzt. Die deskriptive Statistik bietet zunächst einen Überblick über die Daten, während inferenzstatistische Methoden darauf abzielen, differenzierte Aussagen über die Grundgesamtheit basierend auf der Stichprobe zu treffen (vgl. Reinders et al., 2022, 270 ff.).

Die Datenanalyse erfolgte unter Zuhilfenahme der Analyse- und Statistik-Software SPSS von IBM. Der Name SPSS steht für Statistical Package for the Social Sciences.

Kennzeichnend für die Auswertung der Daten ist die Überführung der Daten in Zahlenformate und die Weiterverarbeitung dieser Zahlen. In Bezug auf die Frage „Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung?“ mit den Antwortmöglichkeiten „Alphastrahlung“, „sichtbares Licht“, „Betastrahlung“, „Gammastrahlung“, „Funkstrahlung“ und „Radiostrahlung“ wird das korrekte Ankreuzen der Antwortmöglichkeiten mit dem Wert „1“ (= richtig) kodiert. Das falsche Ankreuzen einer Antwortmöglichkeit wird hingegen mit „0“ (= falsch) kodiert. Die Quantifizierung erlaubt die Bestimmung der Häufigkeit mit der die Merkmalsausprägung „1“ von den Teilnehmenden aufgewiesen wird (vgl. Reinders et al., 2022, S. 269).

3.5.1 Indexbildung

Die Indexbildung bezeichnet ein Verfahren der statistischen Datenanalyse, bei dem mehrere Einzelindikatoren zu einem Index zusammengefügt werden. Dieses Verfahren gilt explizit als Auswertungsverfahren und nicht als Erhebungs- oder Messverfahren. Für die Zusammenführung mehrerer Einzelindikatoren zu einem Index stehen verschiedene Rechenmethoden zur Verfügung, darunter die additive, die multiplikative und die gewichtete additive Indexbildung. Die hier beschriebene Indexbildung erlaubt die Anwendung weiterführender Analyseverfahren (vgl. Fluck & Lichtenberg, 2021, S. 82).

Für die Bildung der beiden folgenden Indizes wurde angenommen, dass alle Indikatoren, die den Index bilden, gleich gewichtet sind und es wurde eine additive Indexbildung gewählt.

Ein Index wird aus den Indikatoren der Wissensfragen gebildet und dient als Wissensscore. Der Wissensscore quantifiziert den Wissensstand vor und nach der Experimentierereinheit und erlaubt somit einen fundierten Einblick in die individuellen Wissensstände der Schülerinnen und Schüler. Im Folgenden wird dieser Index als „Wissensscore (Vortest)“ und „Wissensscore (Nachttest)“ bezeichnet.

Der Index setzt sich aus den folgenden drei Items des konzipierten Fragebogens zum Thema zusammen:

- „Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung?“,
- „Radioaktivität erkenne ich an...“,
- „Unter der Aktivität eines radioaktiven Präparates versteht man...“.

Insgesamt stehen dreizehn Antwortmöglichkeiten zur Verfügung, die als richtig oder falsch kodiert werden. Hierbei kann ein Score zwischen „0“ und „13“ erzielt werden, wobei ein höherer Score als Indikator für einen höheren Wissensstand interpretiert werden kann.

Die Erstellung eines Index zur Evaluierung der Risikowahrnehmung der Schülerinnen und Schüler bezüglich Radioaktivität stellt eine fundamentale Voraussetzung für die Beantwortung der Forschungsfrage dar. Im Folgenden wird dieser Index als

„Risikowahrnehmung (Vortest)“ und „Risikowahrnehmung (Nachttest)“ bezeichnet. Hierbei werden folgende Items zusammengeführt:

- „Die Gefahr, die durch Radioaktivität ausgeht, schätze ich im Alltag als groß ein.“
- „Die Auswirkungen von Radioaktivität im Alltag betrachte ich im Vergleich zu anderen Risiken wie Rauchen oder Autofahren als gefährlicher für den Menschen.“

Die Beantwortung der Fragen erfolgt anhand einer Likert-Skala. Die Likert-Typ-Items werden wie folgt kodiert: „1 = stimme überhaupt nicht“, „2 = stimme nicht zu“, „3 = stimme weder zu noch lehne ich ab“, „4 = stimme zu“, „5 = stimme voll und ganz zu“. Auch hier werden die beiden Items gleichgewichtet und additiv zu einem Score zusammengerechnet.

Der resultierende Score kann einen Wert zwischen „2“ und „10“ annehmen, wobei ein höherer Score auf eine höhere Merkmalsausprägung hinweist und somit eine stärkere Risikowahrnehmung indiziert.

Abschließend sei in diesem Zusammenhang festzuhalten, dass die Indexbildung eine bedeutsame Komponente weiterführender Analyseverfahren darstellt. Sie ermöglicht die Messbarkeit komplexerer theoretischer Konstrukte, die nicht unmittelbar aus den Einzelvariablen eines Fragebogens hervorgehen.

3.5.2 Varianzanalysen

Varianzanalysen ermöglichen die statistische Prüfung der Signifikanz von Unterschieden in Bezug auf ausgewählte Variablen zwischen verschiedenen Gruppen. Konkret geht es um die Überprüfung formulierter Hypothesen. Zu diesem Zweck werden zwei zentrale Hypothesen aufgestellt: eine Nullhypothese (H_0) und eine Alternativhypothese (H_1) (vgl. Bortz & Schuster, 2010, S. 138). Die Nullhypothese postuliert, dass es keinen Unterschied zwischen den Gruppen gibt, während die Alternativhypothese einen Unterschied besagt.

Die Entscheidung über die Annahme oder Ablehnung der Nullhypothese ist abhängig vom p-Wert der Teststatistik, der auch als Signifikanzwert bezeichnet wird. Ein p-Wert unter dem festgelegten Signifikanzniveau von 0.05 führt zur Verwerfung der

Nullhypothese, was bedeutet, dass das Ergebnis nicht zufällig ist (vgl. Duller, 2018, S. 17). In Fällen, in denen die Nullhypothese abgelehnt wird, wird die Alternativhypothese angenommen, welche einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen postuliert.

Im Folgenden werden verschiedene Methoden zur Analyse des Erhebungsverfahrens anhand von kurzen Beispielen erläutert. Zunächst erfolgt eine Erläuterung der gängigen Standardmethoden, bevor anschließend zu den Methoden übergeleitet wird, die an weniger strenge Voraussetzungen geknüpft sind.

Gängige Methoden zur Analyse von Daten sind parametrische Tests, wie der t-Test. Dieser kann in den t-Test für eine Stichprobe, den t-Test für unabhängige Stichproben und den t-Test für abhängige Stichproben unterteilt werden. Die Testverfahren untersuchen, ob sich die Mittelwerte zweier Stichproben signifikant voneinander unterscheiden. Für die Datenauswertung sind die beiden zuletzt genannten von Interesse und werden im weiteren Verlauf erläutert.

Beim unabhängigen t-Test werden die Mittelwerte zweier unabhängiger Stichproben miteinander verglichen, wobei angenommen wird, dass die Beobachtungen der einen Stichprobe in keinem Zusammenhang mit denen der anderen stehen. Im Gegensatz dazu werden beim abhängigen t-Test die Mittelwerte von zwei abhängigen Stichproben verglichen (vgl. Field, 2013, S. 364–391). Die Messwerte liegen dabei paarweise vor, da sie durch Messwiederholungen bei denselben Personen bezüglich der gleichen Variable entstehen (vgl. Duller, 2018, S. 117). Die Unterschiede beider Testverfahren sind in Abbildung 3 dargestellt.

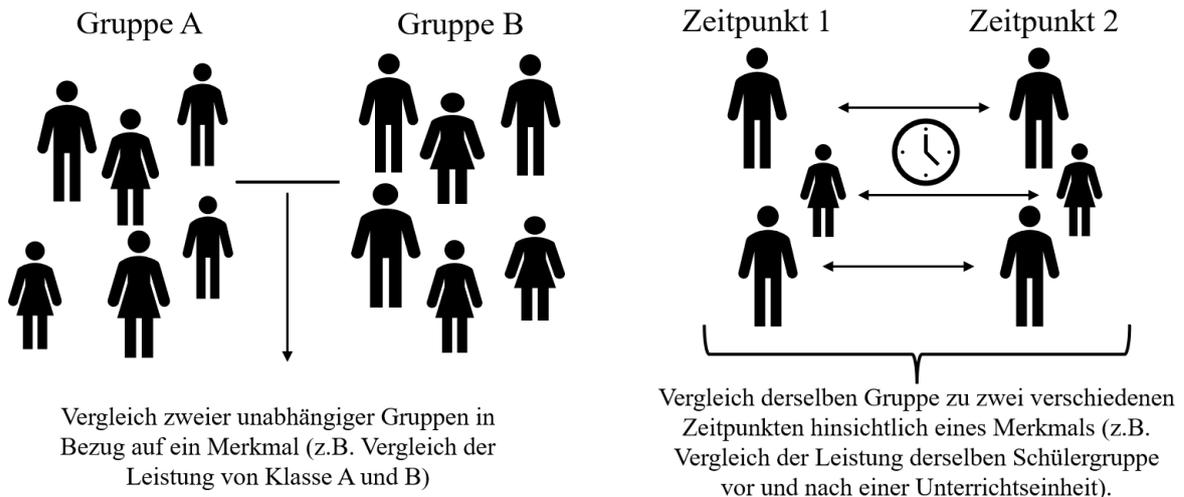


Abbildung 3: Gegenüberstellung des *t*-Tests für unabhängige Stichproben (links) und für abhängige Stichproben (rechts).

Quelle: In Anlehnung an DATAtab Team, 2024.

In beiden Verfahren erfolgt zunächst die Berechnung der Differenz der Mittelwerte beider Stichprobengruppen und schließlich die Prüfung auf statistische Signifikanz. Auf Basis der Mittelwertdifferenz lässt sich zunächst der *t*-Wert der Teststatistik berechnen. Dieser Wert gibt an, wie groß die Mittelwertdifferenz im Verhältnis zur Streuung innerhalb der Gruppen ist und wird zur Berechnung des *p*-Wertes benötigt. Ein hoher *t*-Wert weist hierbei auf eine größere Mittelwertdifferenz im Vergleich zur Streuung innerhalb der Gruppen hin und bedingt einen kleinen *p*-Wert. Das bedeutet, dass bei einem *p*-Wert kleiner als 0.05 die Nullhypothese abgelehnt und somit keine statistisch signifikante Differenz zwischen den Mittelwerten beider Gruppen angenommen wird. Der *p*-Wert ist auch für alle nachfolgenden Analyseverfahren von entscheidender Bedeutung.

Der *t*-Test für unabhängige und abhängige Stichproben setzt ähnliche Bedingungen voraus. Für beide Verfahren wird eine metrische Variable vorausgesetzt und die Daten der Tests müssen einer Normalverteilung folgen. Des Weiteren gilt es beim unabhängigen *t*-Test zu überprüfen, ob die Varianzen der Stichprobengruppen gleich sind. Aufschluss darüber erlaubt hierbei der Levene-Test, der automatisch bei der Testdurchführung mittels SPSS erfolgt. Ein *p*-Wert des Levene-Tests von größer als 0.05 impliziert, dass die Homogenitätsannahme der Varianz nicht erfüllt ist und die Voraussetzung für die Testdurchführung nicht gegeben ist (vgl. Bortz & Schuster, 2010, 122 ff.).

Sofern die Voraussetzungen nicht erfüllt sind, können die Testergebnisse fehlerhaft sein, sodass auf nicht-parametrische Testverfahren zurückgegriffen werden muss. Das nicht-parametrische Gegenstück zum unabhängigen t-Test ist der Mann-Whitney-U-Test, während das Gegenstück zum abhängigen t-Test der Wilcoxon-Test ist. Sowohl der Mann-Whitney-U-Test als auch der Wilcoxon-Test setzen keine Normalverteilung der Daten voraus. Im Gegensatz zum t-Test werden bei diesen beiden Teststatistiken die Rangsummen beider Stichprobengruppen berechnet. In einem nächsten Schritt werden die Differenzen der Mittelwerte aufsteigend nach Rängen sortiert und durchnummeriert. Beim Mann-Whitney-U-Test werden die Rangplätze für jede Gruppe (z.B. männlich/ weiblich) getrennt der Größe nach durchnummeriert und anschließend addiert. Daraus resultiert eine Rangsumme für die männliche und eine für die weibliche Gruppe (vgl. Bortz & Schuster, 2010, 130 ff.).

Beim Wilcoxon-Test werden die Differenzen ebenfalls durchnummeriert, wobei sich diese Nummerierung von der zuvor beschriebenen Vorgehensweise unterscheidet. Für alle negativen Differenzen und positive Differenzen wird jeweils eine Rangsumme gebildet. Diese Rangsummen sind zur Berechnung des p-Wertes und der z-Teststatistik erforderlich. Sofern ein signifikanter Unterschied festgestellt wurde, lässt sich die Stärke des Effekts anhand des z-Wertes der Teststatistik berechnen. Zur Berechnung der Effektstärke d werden der z-Wert und die Stichprobengröße n benötigt (vgl. Bortz & Schuster, 2010, 133 f.).

$$d = \left| \frac{z}{\sqrt{n}} \right|$$

Zur Beurteilung der Effektgröße dient die Einteilung nach Cohen (vgl. Field 2013: S. 80).

Tabelle 3: Einordnung des Wertes der Effektstärke.

d-Wert	Effektstärke
0.2	klein
0.5	mittelgroß
0.8	groß

3.5.3 Korrelationsanalysen

Korrelationsanalysen dienen dazu, die Stärke der Beziehung zwischen zwei Variablen zu bestimmen. Die Pearson-Korrelation ist ein parametrisches Testverfahren, mit dem sich prüfen lässt, ob ein linearer Zusammenhang vorliegt. Zur Einordnung der Stärke und der Richtung einer Korrelation dient der Pearson Korrelationskoeffizient r , ein standardisiertes Maß für die Beziehung zwischen zwei Variablen. Der Korrelationskoeffizient kann Werte zwischen -1 und $+1$ annehmen. Ein Wert von -1 bedeutet, dass sich die Variablen in entgegengesetzter Richtung um denselben Betrag ändern. Ein Wert von 0 zeigt an, dass keine Beziehung besteht, während ein Wert von $+1$ bedeutet, dass sich die Variablen in gleicher Richtung um den gleichen Betrag ändern. Das Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten gibt Aufschluss über die Richtung der Korrelation, während der Zahlenwert die Stärke der Korrelation angibt (vgl. Field, 2013, S. 881).

Da die Pearson-Korrelationsanalyse ein parametrisches Testverfahren ist, setzt sie eine Normalverteilung der Daten voraus. Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, wird das nicht-parametrische Äquivalent zur Pearson-Korrelationsanalyse, die Spearman-Korrelationsanalyse, angewendet. Die Korrelation wird dabei, wie bei anderen nicht-parametrischen Testverfahren, anhand zuvor vergebener Ränge berechnet. Für die Richtung und Stärke einer Korrelation können die Richtlinien der Pearson-Korrelationsanalyse herangezogen werden (vgl. Field, 2013, S. 884). Zur Beurteilung der statistischen Signifikanz einer Beziehung wird ebenfalls der p -Wert herangezogen, der angibt, wie wahrscheinlich es ist, dass der Korrelationskoeffizient durch Zufall entstanden ist. Dabei wird als übliches Signifikanzniveau 0.05 angenommen.

3.5.4 Grundlegende Kennzahlen der deskriptiven Statistik

Umfangreiche erhobene quantitative Daten können durch einige wenige Parameter effizient beschrieben werden. Zur Interpretation der nachfolgenden Ergebnisse ist es von Relevanz, einen kurzen Überblick über die Bedeutung der grundlegenden deskriptiven Maße zu erhalten.

Das bedeutendste dieser Statistiken ist das arithmetische Mittel, auch als Mittelwert bezeichnet. Das arithmetische Mittel \bar{x}_j ist ein Lageparameter, der zur Darstellung der zentralen Lage einer Datenverteilung dient. Kurzgefasst handelt es sich hierbei um den Durchschnittswert einer Variable:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij} \quad (5)$$

mit

x_{ij} : Beobachtungswert der Variable j für Person oder Objekt i

N : Größe der Stichprobe

Das arithmetische Mittel (M) einer Stichprobengruppe liefert hierbei einen Schätzwert für den wahren Mittelwert μ der Grundgesamtheit.

Eine weitere bedeutsame Größe ist die Standardabweichung (SD), ein statistisches Maß, das zur Beschreibung der Streubreite der Werte einer Variable um den Mittelwert bzw. Erwartungswert dient. Sie gibt die durchschnittliche Abweichung der erhobenen Werte vom Mittelwert an. Bei einer großen Streuung der Werte um den Mittelwert ergibt sich eine hohe Standardabweichung der Variable.

Zur Berechnung der Standardabweichung der Grundgesamtheit s_j wird folgende Formel verwendet:

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_j)^2} \quad (6)$$

mit

x_{ij} : Beobachtungswert der Variable j für Person oder Objekt i

\bar{x}_j : Mittelwert der Variable j

N : Größe der Stichprobe

Auf Grundlage der Berechnung des Mittelwertes und Standardabweichung der Grundgesamtheit kann nun eine weitere relevante Größe berechnet werden, bei der es sich um den Standardfehler des Mittelwertes (SE) handelt. Diese Größe gibt an, wie sehr der Mittelwert einer Stichprobe vom tatsächlichen Mittelwert in der Grundgesamtheit abweicht. Mit zunehmender Stichprobengröße N wird der Standardfehler kleiner. Zur Berechnung des Standardfehlers des Mittelwertes wird folgende Formel herangezogen:

$$SE = \frac{s_j}{\sqrt{N}} \quad (7)$$

mit

s_j : Standardabweichung der Grundgesamtheit.

N : Größe der Stichprobe

(vgl. Hoch & Küveler, 2023, 9 ff.).

4 Ergebnisse

4.1 Qualitative Ergebnisse der Unterrichtsdiskussion

Im Rahmen der Messeinheit wurden die Schülerinnen und Schüler angeleitet, eine erste, rein subjektive Einschätzung bezüglich der Menge der Radioaktivität in den Proben abzugeben. Die Proben wurden auf der linken Tafelseite, basierend auf der intuitiven Einschätzung der Schülerinnen und Schüler, in einer Rangfolge eingeordnet. Hierzu erhielt jede Schülerin bzw. jeder Schüler eine Probe, welche in der Rangfolge platziert werden sollte. Auf der linken Seite von Abbildung 4 ist die Einschätzung einer Lerngruppe, bezüglich der Menge an Radioaktivität von unten nach oben aufsteigend, dargestellt.

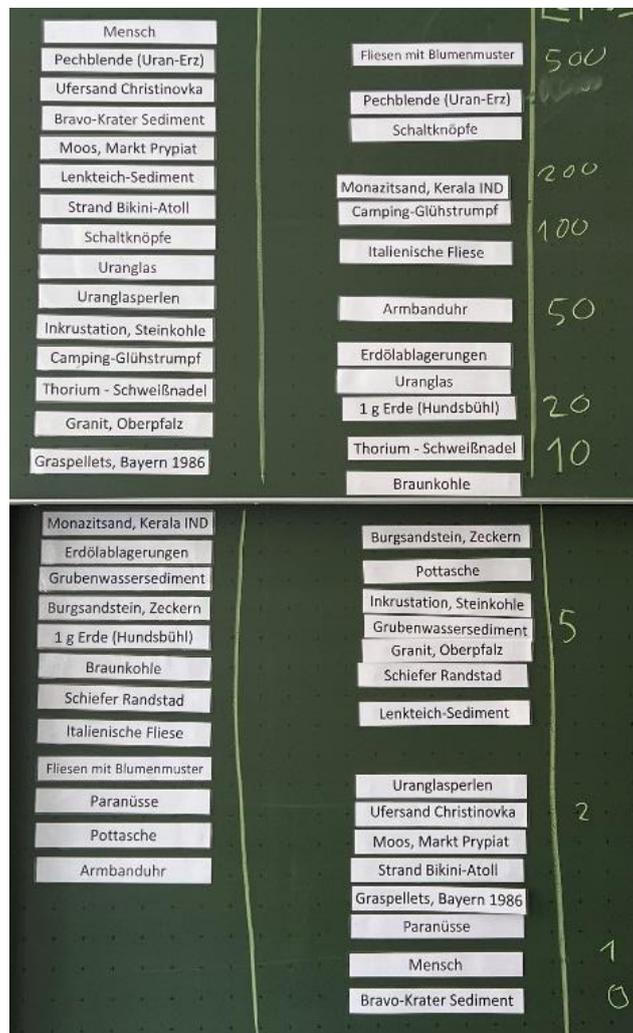


Abbildung 4: Qualitative (links) und quantitative (rechts) Einordnung der Proben bezüglich der Menge an Radioaktivität einer Lerngruppe.

Quelle: Eigene Darstellung.

Ein Trend, der in Bezug auf Abbildung 4 und auch in anderen Lerngruppen mehrfach zu beobachten war, zeigte, dass Proben wie Pechblende, Moos vom Markt in Prypjat und Flussufersand aus Christinovka (einer Stadt nahe dem Kernreaktor in Tschernobyl), Sediment des Bravo-Kraters, sowie der Sand vom Strand des Bikini-Atolls, mit einer hohen Menge an Radioaktivität in Verbindung gebracht wurden. Auch die Uranglasperlen und das Uranglas wurden in vielen Fällen auf der oberen Hälfte der Rangordnung platziert.

Proben, die tendenziell in der Mitte der Rangordnung eingeordnet wurden, umfassten verschiedene Sedimente, Erdölablagerungen, Granite, Camping-Glühstrümpfe und Monazitsand aus Kerala. In der unteren Hälfte der Rangordnung fanden sich wiederholt die Paranüsse, die Pottasche sowie die italienische Fliese und die Fliese mit Blumenmuster.

Auf der rechten Tafelseite in Abbildung 4 ist eine Rangfolge basierend auf den tatsächlichen Messwerten dargestellt. Proben, die sich zuvor in der Mitte oder auf der unteren Hälfte der Einschätzung befanden, wie die Camping-Glühstrümpfe, die Schaltknöpfe, der Monazitsand aus Indien und die italienische Fliese, fanden sich nun in der oberen Hälfte der Rangordnung wieder. Dieses gilt auch für die Camping-Glühstrümpfe, die Schaltknöpfe, den Monazitsand aus Indien sowie die italienische Fliese und die Fliese mit Blumenmuster.

Im mittleren Bereich der Messwert-Rangfolge lagen häufig Proben wie die Pottasche, Flussufersand aus Christinovka, die Erdölablagerungen sowie das Uranglas und die Uranglasperlen. In der unteren Hälfte der Rangordnung waren nun der Sand vom Strand Bikini-Atoll, der Moos vom Markt in Prypjat und der Mensch zu finden, der bei der initialen Einschätzung einen Platz in der Mitte der Reihenfolge innehatte.

Der Vergleich der subjektiven Einschätzungen mit den Messwerten offenbart einige Diskrepanzen. Diese Unterschiede zwischen den intuitiven Einschätzungen der Schülerinnen und Schüler und der tatsächlichen Radioaktivität in den Proben werden in Abschnitt 5.1 detailliert interpretiert und erläutert.

4.2 Deskriptive Ergebnisse

Die deskriptive Statistik ermöglicht die übersichtliche Darstellung empirisch erhobener Daten einer Stichprobengruppe in Tabellen und Diagrammen sowie deren Beschreibung unter Zuhilfenahme geeigneter Kenngrößen. Sie erlaubt es, auf Grundlage der Stichprobendaten Hypothesen zu generieren, um bislang unbekannte Strukturen und Zusammenhänge aufzudecken. Diese Hypothesen gilt es, durch Varianzanalysen auf statistische Signifikanz, zu überprüfen. In diesem Abschnitt werden die Antworten des Fragebogens beschrieben, wobei sowohl ein Vergleich zwischen dem Vor- und Nachtest als auch eine geschlechtsspezifische Unterscheidung vorgenommen wird. Zudem sei vorab noch bemerkt, dass die nachfolgenden Diagramme, die Mittelwerte in Bezug auf die Beantwortung eines Items repräsentieren, mit Fehlerbalken versehen sind, die den Standardfehler des Mittelwerts bei einem Konfidenzniveau von 99 % darstellen.

Einschätzung der Wahrscheinlichkeit einer Exposition durch Radioaktivität

Tabelle 4 zeigt die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit an, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein. Beim Vortest betrug die durchschnittliche Einschätzung der Wahrscheinlichkeit bei den 80 männlichen Schülern 66.90 % ($SD = 33.87$; $SE = 3.81$), während die 147 befragten Schülerinnen eine durchschnittliche Wahrscheinlichkeit von 71.50 % ($SD = 30.19$; $SE = 2.49$) angaben. Nach der Messeinheit lag die Wahrscheinlichkeit für die männlichen Schüler bei 84.13 % ($SD = 26.09$; $SE = 2.92$) und für die Schülerinnen bei 85.61 % ($SD = 24.80$; $SE = 2.05$).

Tabelle 4: Item- Wie hoch schätzt du die Wahrscheinlichkeit ein, in deinem Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein? Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. $n = 227$.

Wahrscheinlichkeit	Geschlecht	n	M	SD	SE
Vortest	männlich	80	66.90	33.87	3.81
	weiblich	147	71.50	30.19	2.49
Nachtest	männlich	80	84.13	26.09	2.92
	weiblich	147	85.61	24.80	2.05

In Abbildung 5 wird die durchschnittliche Einschätzung der Wahrscheinlichkeit sowohl vor als auch nach der Messeinheit für die Schülerinnen und Schüler dargestellt.

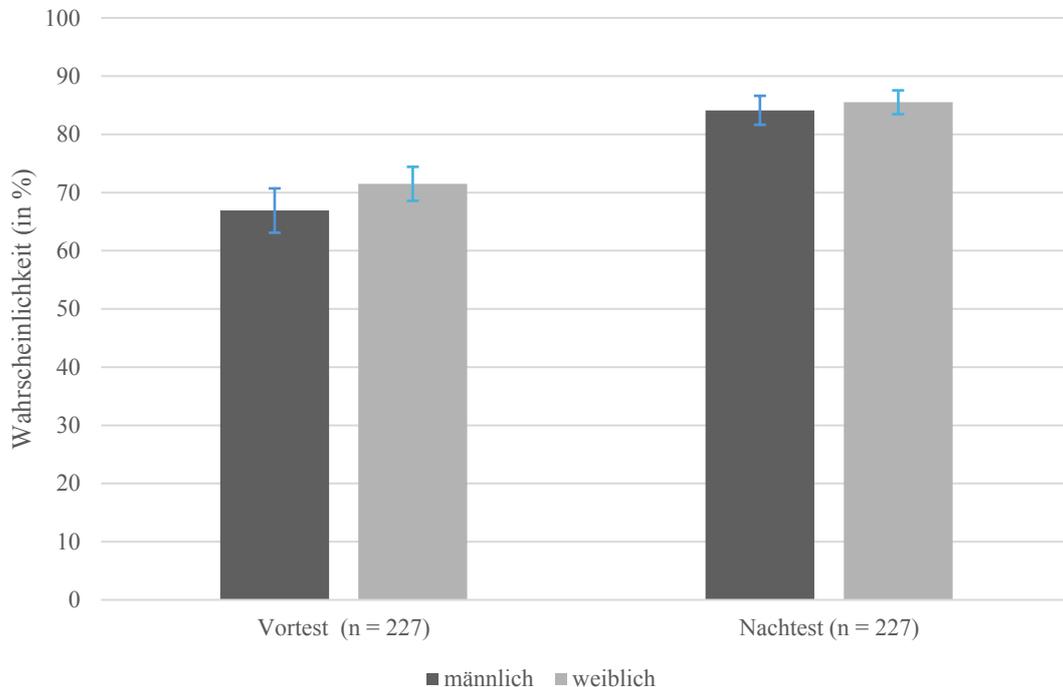


Abbildung 5: Veränderung der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. $n = 227$.

Quelle: Eigene Darstellung.

Wahrnehmung der Gefahr durch Radioaktivität

Um ein umfassenderes Bild der Wahrnehmung von Risiken im Zusammenhang mit Radioaktivität zu erhalten, wird das Item, dass die Gefahr, die im Alltag ausgehe, groß sei, anhand einer Likert-Skala („1 = stimme überhaupt nicht zu“, „5 = stimme voll und ganz zu“) quantifiziert.

Tabelle 5 zeigt die Quantifizierung des Items. Beim Vortest betrug die durchschnittliche Bewertung der Gefahr bei den 80 männlichen Schülern 2.06 ($SD = .85$; $SE = .09$), während die 148 befragten Schülerinnen eine durchschnittliche Bewertung von 2.42 ($SD = .79$; $SE = .07$) angaben. Nach der Messeinheit lag die Bewertung bei den männlichen

Schülern bei 1.71 ($SD = 0.83$; $SE = .09$) und für die Schülerinnen bei 2.28 ($SD = 1.05$; $SE = .09$).

Tabelle 5: Item - Die Gefahr, die durch Radioaktivität ausgeht, schätze ich im Alltag als groß ein. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 228.

Gefahr Radioaktivität	Geschlecht	n	M	SD	SE
Vortest	männlich	80	2.06	.85	.09
	weiblich	148	2.42	.79	.07
Nachtest	männlich	80	1.71	.83	.09
	weiblich	148	2.28	1.05	.09

Ein detaillierter Überblick über Einschätzung des Items befindet sich in Abbildung 6.

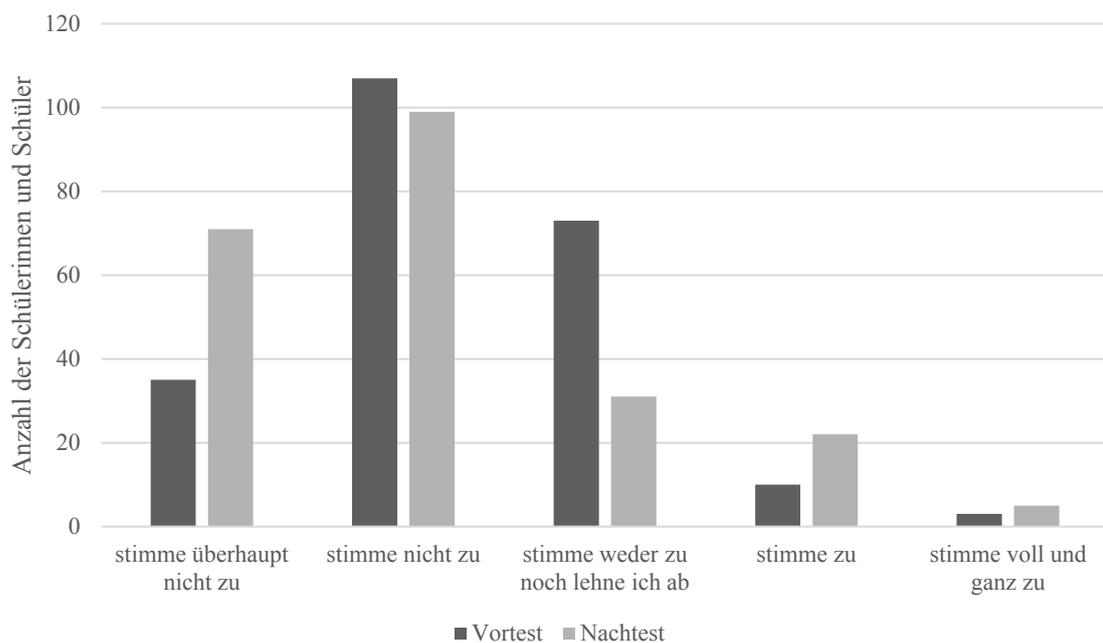


Abbildung 6: Veränderung der Zustimmung bezüglich der Aussage über die Gefahr von Radioaktivität im Alltag. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 228.

Quelle: Eigene Darstellung.

Vergleich der Auswirkungen von Radioaktivität mit anderen Risiken

Ein weiterer Indikator für die Wahrnehmung von Risiken im Zusammenhang mit Radioaktivität ist der Vergleich von Radioaktivität in Bezug auf andere Risiken wie Rauchen oder Autofahren. Die Aussage, dass Radioaktivität im Vergleich zu anderen Risiken gefährlicher ist, wird ebenfalls mit einer Likert-Skala quantifiziert.

Tabelle 4-6 zeigt die Quantifizierung des Items. Beim Vortest betrug die durchschnittliche Bewertung der Auswirkung von Radioaktivität im Vergleich zu anderen Risiken bei den 80 männlichen Schülern 2.04 ($SD = 1.30$; $SE = .15$), während die 147 befragten Schülerinnen eine durchschnittliche Bewertung von 2.33 ($SD = 1.04$; $SE = .09$) angaben. Nach der Messeinheit lag die Bewertung bei den männlichen Schülern bei 1.63 ($SD = .93$; $SE = .10$) und bei den Schülerinnen bei 1.99 ($SD = 1.04$; $SE = .09$).

Tabelle 6: Item - Die Auswirkungen von Radioaktivität im Alltag betrachte ich im Vergleich zu anderen Risiken wie Rauchen oder Autofahren als gefährlicher für den Menschen. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.

Vergleich Risiken	Geschlecht	n	M	SD	SE
Vortest	männlich	80	2.04	1.30	.15
	weiblich	147	2.33	1.04	.09
Nachtest	männlich	80	1.63	0.93	.10
	weiblich	147	1.99	1.04	.09

Ein detaillierter Überblick über die Einschätzung des Items ist in Abbildung 7 geschlechterübergreifend dargestellt.

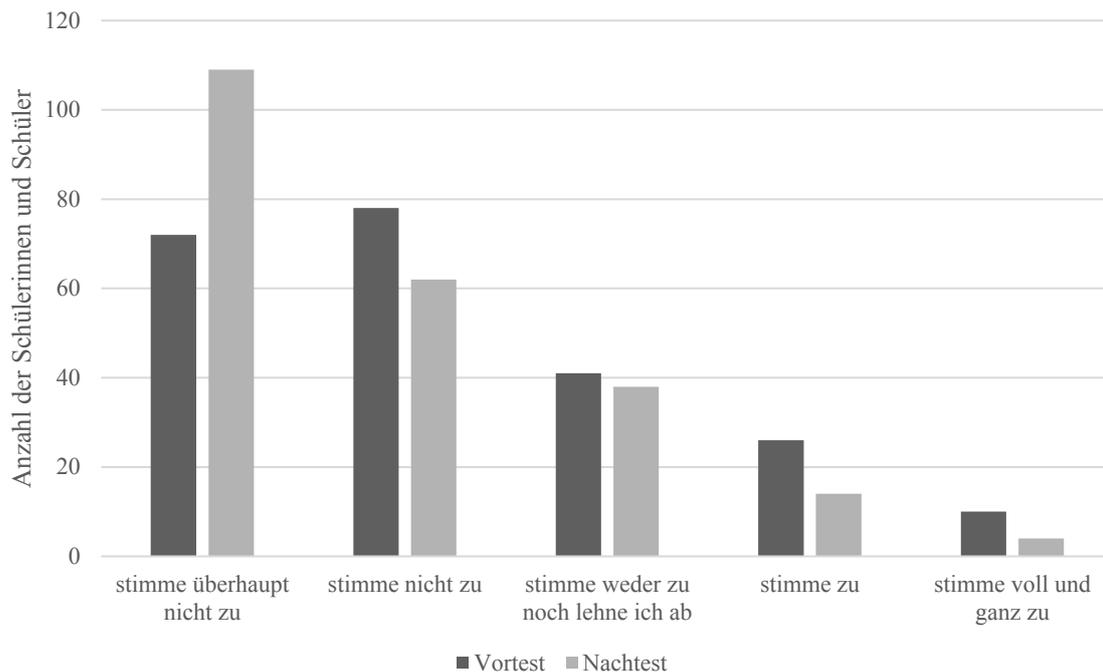


Abbildung 7: Veränderung der Zustimmung bezüglich der Aussage über die Auswirkungen von Radioaktivität im Vergleich zu anderen Risiken. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. $n = 227$.

Quelle: Eigene Darstellung.

Geschlechtsspezifische Unterschiede in der Risikowahrnehmung

Hinsichtlich der Forschungsfrage wird ein geschlechtlicher Unterschied hinsichtlich der Risikowahrnehmung vor und nach der Experimentiereinheit betrachtet.

Tabelle 7 zeigt die Risikowahrnehmung von Schülerinnen und Schülern beim Vor- und Nachtest. Beim Vortest betrug die durchschnittliche Risikowahrnehmung bei den 80 männlichen Schülern 4.10 ($SD = 1.88$; $SE = .21$) und nach der Einheit 3.34 ($SD = 1.53$; $SE = .17$). Bei den 147 befragten Schülerinnen lag die durchschnittliche Risikobewertung vor der Einheit bei 4.75 ($SD = 1.37$; $SE = .11$) und nach der Messeinheit bei 4.29 ($SD = 1.79$; $SE = .15$).

Tabelle 7: Index - Risikowahrnehmung. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.

Risikowahrnehmung	Geschlecht	n	M	SD	SE
Vortest	männlich	80	4.10	1.88	.21
	weiblich	147	4.75	1.37	.11
Nachtest	männlich	80	3.34	1.53	.17
	weiblich	147	4.29	1.79	.15

Einschätzung zur Erfolgserwartung in einer Klausur zum Thema Radioaktivität

Eine weitere deskriptive Statistik wird bezüglich des selbst eingeschätzten Kenntnisstandes erhoben, wobei die Schülerinnen und Schüler die Aussage anhand einer Likert-Skala bewerten, ob ihr Kenntnisstand ihnen den Erfolg in der Klausur garantiert.

Tabelle 8 zeigt die Quantifizierung des Items. Beim Vortest betrug die durchschnittliche Bewertung der Auswirkungen im Vergleich zu anderen Risiken bei den 80 männlichen Schülern 2.94 ($SD = 1.11$; $SE = .13$), während die 147 befragten Schülerinnen eine durchschnittliche Bewertung von 2.61 ($SD = 1.13$; $SE = .09$) angaben. Nach der Messeinheit lag die Bewertung bei den männlichen Schülern bei 3.26 ($SD = 1.08$; $SE = .12$) und bei den Schülerinnen bei 3.24 ($SD = 1.10$; $SE = .09$).

Tabelle 8: Item - Mein Kenntnisstand über Radioaktivität garantiert mir den Erfolg in einer Klausur zum Thema. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 227.

Kenntnisstand	Geschlecht	n	M	SD	SE
Vortest	männlich	80	2.94	1.11	.13
	weiblich	147	2.61	1.13	.09
Nachtest	männlich	80	3.26	1.08	.12
	weiblich	147	3.24	1.10	.09

Ein detaillierter Überblick über die Einschätzung des Items ist in Abbildung 8 geschlechterübergreifend dargestellt.

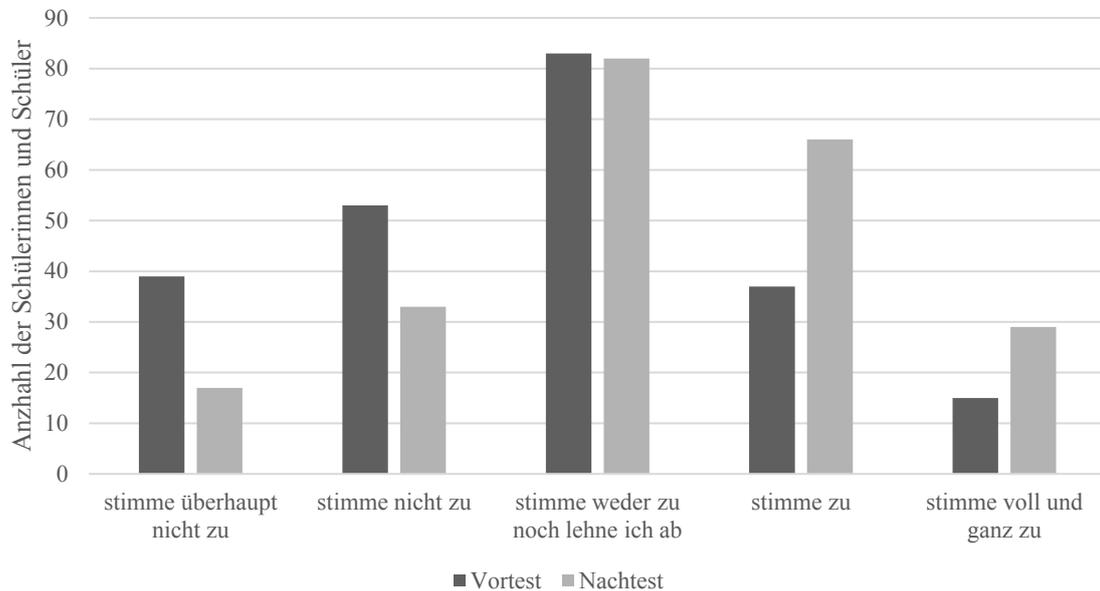


Abbildung 8: Veränderung der Einschätzung über den Erfolg in einer Klausur zum Thema Radioaktivität. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. $n = 227$.

Quelle: Eigene Darstellung.

Wissensscore als Indikator des tatsächlichen Wissensstandes zum Thema Radioaktivität

Anhand des Wissens-Index kann auf den tatsächlichen Wissensstand der Schülerinnen und Schüler geschlossen werden. Hierbei konnte ein Score zwischen „0“ und „13“ erreicht werden.

Tabelle 9: Index – Wissensscore. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. $n = 211$

Wissensscore	Geschlecht	n	M	SD	SE
Vortest	männlich	74	10.38	2.10	.24
	weiblich	137	10.54	2.29	.20
Nachtest	männlich	74	11.11	1.73	.20
	weiblich	137	11.09	1.66	.14

Tabelle 9 zeigt die Quantifizierung des Items. Beim Vortest betrug die durchschnittliche Bewertung der Auswirkungen im Vergleich zu anderen Risiken bei den 74 männlichen Schülern 10.38 ($SD = 2.10$; $SE = .24$), während die 137 befragten Schülerinnen eine durchschnittliche Bewertung von 10.54 ($SD = 2.29$; $SE = .20$) angaben. Nach der Mess-einheit lag der Wissensscore bei den männlichen Schülern bei 11.11 ($SD = 1.73$; $SE = .20$) und bei den Schülerinnen bei 11.09 ($SD = 1.66$; $SE = .14$).

Einschätzung der Menge an Radioaktivität in verschiedenen Objekten

Anhand des letzten Items soll untersucht werden, ob das Leuchten eines Objektes die Einschätzung der Radioaktivität beeinflusst. Für die Einschätzung wird eine Likert-Skala verwendet („1 = gar keine“, „2 = wenig“, „3 = mittel“, „4 = viel“, „5 = sehr viel“).

Tabelle 10 zeigt die Quantifizierung des Items für alle Proben zusammengefasst. Beim Vortest betrug die durchschnittliche Einschätzung der Menge an Radioaktivität der Arm-banduhr bei 230 Lernenden durchschnittlich 2.32 ($SD = .95$; $SE = .06$). Beim Nachtest veränderte sich die durchschnittliche Einschätzung auf 3.26 ($SD = .93$; $SE = .06$). Beim Kompass betrug die durchschnittliche Einschätzung beim Vortest 2.73 ($SD = .90$; $SE = .06$). Nach der Experimentiereinheit veränderte sich die durchschnittliche Einschätzung auf 2.89 ($SD = 0.81$; $SE = .05$). Bei der Uranglasschale betrug die durchschnittliche Ein-schätzung beim Vortest 2.65 ($SD = 1.37$; $SE = .09$). Nach der Experimentiereinheit ver-änderte sich die durchschnittliche Einschätzung auf 2.72 ($SD = 0.84$; $SE = .01$).

Tabelle 10: Item - Wie hoch schätzt du die Menge an Radioaktivität in den Proben ein? Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. n = 230.

Menge an Radio- aktivität	Testart	n	M	SD	SE
Armbanduhr	Vortest	230	2.32	.95	.06
	Nachtest	230	3.26	.93	.06

Kompass	Vortest	230	2.73	.90	.06
	Nachtest	230	2.89	.81	.05
Uranglasschale	Vortest	230	2.65	1.37	.09
	Nachtest	230	2.72	.84	.01

Ein detaillierter Überblick über die Einschätzung des Items ist in Abbildung 9 geschlechterübergreifend dargestellt.

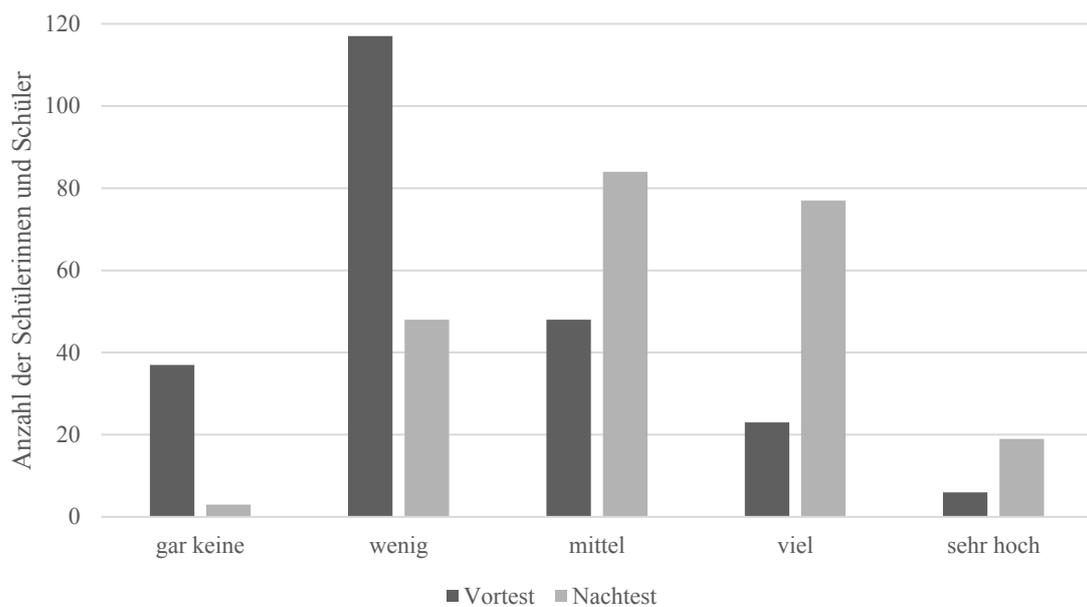


Abbildung 9: Veränderung der Einschätzung der Menge an Radioaktivität in der Armbanduhr. Vorher-Nachher-Vergleich. $n = 230$.

Quelle: Eigene Darstellung.

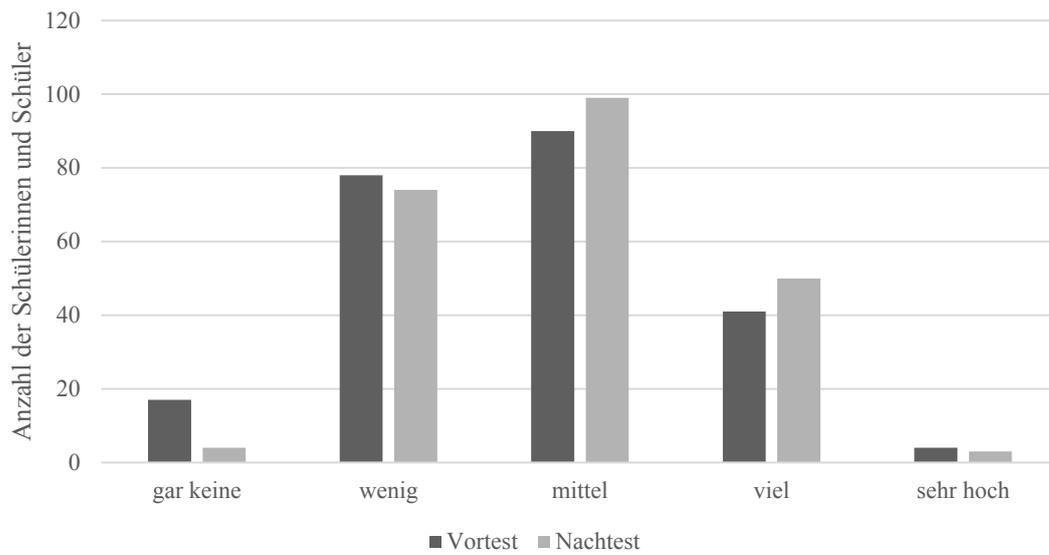


Abbildung 10: Veränderung der Einschätzung der Menge an Radioaktivität im Kompass. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. $n = 230$.

Quelle: Eigene Darstellung.

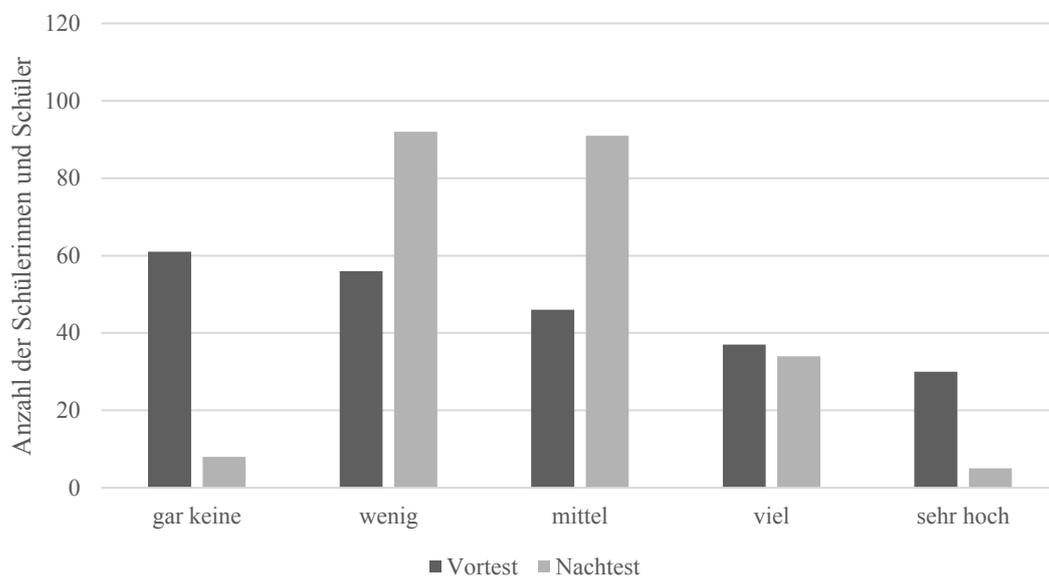


Abbildung 11: Veränderung der Einschätzung der Menge an Radioaktivität in der Uranglaskchale. Vorher-Nachher-Vergleich, getrennt nach Geschlecht. $n = 230$.

Quelle: Eigene Darstellung.

Eine Interpretation bezüglich der deskriptiv-statistischen Ergebnisse erfolgt in Abschnitt 5.2. Eine Übersicht zur exakten Beantwortung der jeweiligen Items aus Abschnitt 3.1 findet sich in Anhang A.5.

4.3 Hypothesentests

4.3.1 Geschlechtsspezifische Unterschiede bezüglich Radioaktivität

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der statistischen Tests dargestellt, die zur Überprüfung der aufgestellten Hypothesen durchgeführt wurden. Es wird sowohl eine Nullhypothese (H_0) als auch eine Alternativhypothese (H_1) für jede Fragestellung angegeben, gefolgt von den Ergebnissen der entsprechenden Tests.

Hypothese 1

- H_0 : Es besteht kein Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Schülerinnen und Schülern in der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein.
- H_1 : Es besteht ein Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Schülerinnen und Schülern in der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein.

Ein Mann-Whitney-U-Test wurde durchgeführt, um den Unterschied in den Mittelwerten der Schülerinnen und Schülern bezüglich der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, Radioaktivität ausgesetzt zu sein, zu überprüfen. Die Wahrscheinlichkeitseinschätzung betrug bei den Schülern 66.90 % ($SD = 33.87$; $SE = 3.81$). Bei den Schülerinnen betrug sie 71.50 % ($SD = 30.19$; $SE = 2.49$).

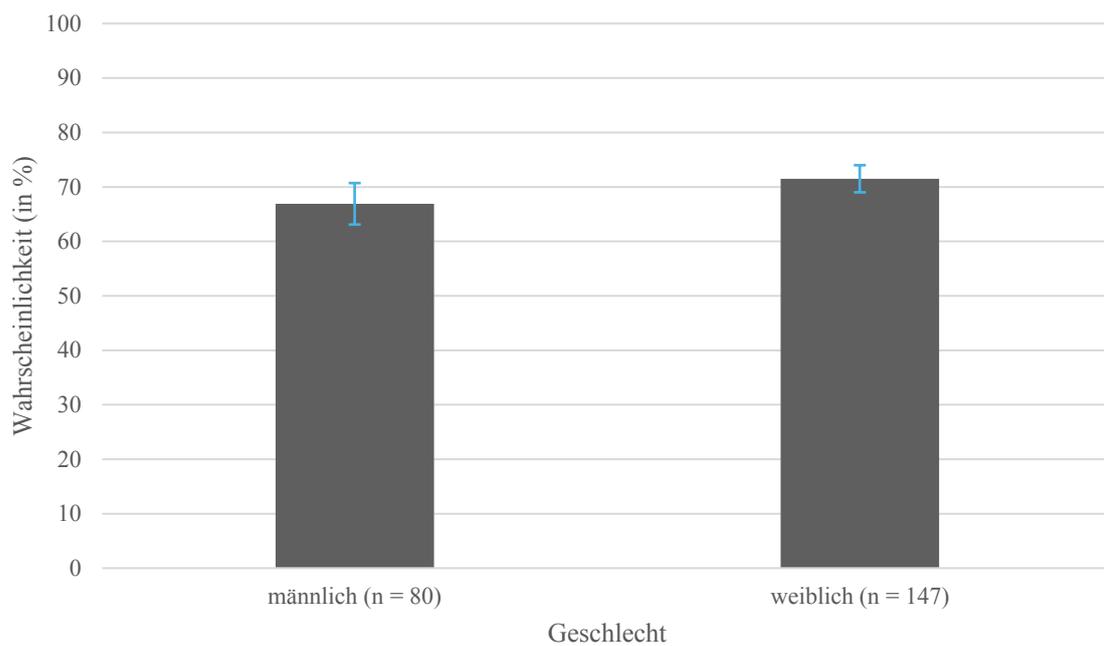


Abbildung 12: Veränderung der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein. Getrennt nach Geschlecht. $n = 227$.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Teststatistik zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Geschlechtern, $p = .35$. Damit wird die Nullhypothese angenommen.

Hypothese 2

- H0: Es besteht kein Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Schülerinnen und Schülern in der Risikowahrnehmung bezüglich Radioaktivität.
- H1: Es besteht ein Unterschied zwischen weiblichen und männlichen Schülerinnen und Schülern in der Risikowahrnehmung bezüglich Radioaktivität.

Ein Mann-Whitney-U-Test wurde durchgeführt, um den Unterschied in den Mittelwerten der Schülerinnen und Schüler bezüglich der Risikowahrnehmung vor und nach der Experimentiereinheit zu überprüfen. Die Risikowahrnehmung betrug bei den männlichen

Schülern 4.10 ($SD = 1.88$; $SE = .21$). Bei den Schülerinnen betrug sie 4.75 ($SD = 1.37$; $SE = .11$).

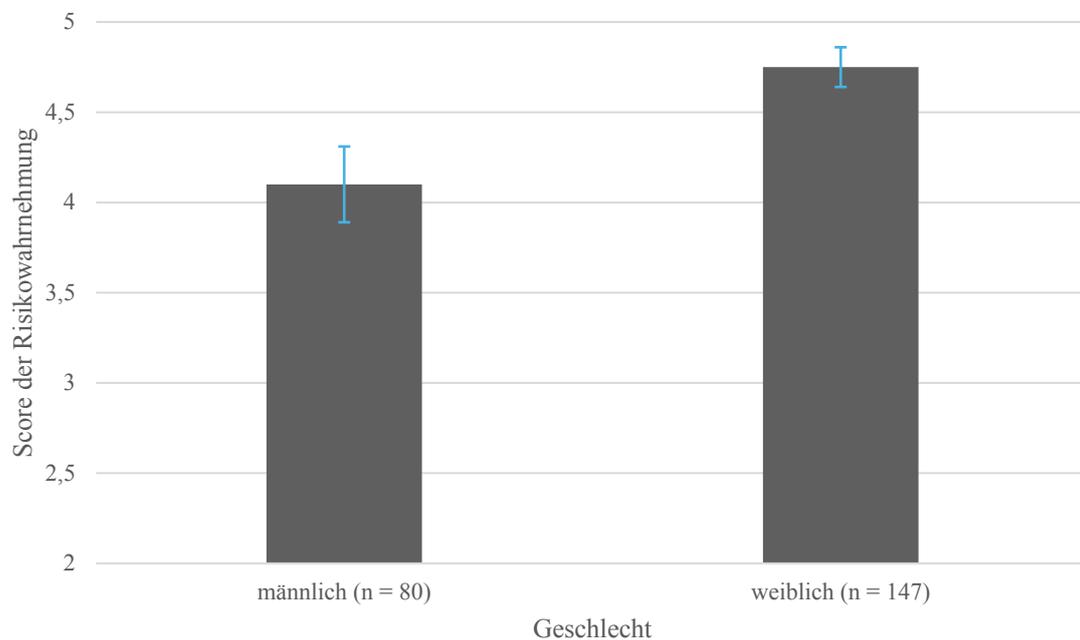


Abbildung 13: Veränderung der Risikowahrnehmung. Getrennt nach Geschlecht (Score von zwei bis zehn möglich). $n = 227$.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Teststatistik zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen, $z = 3.47$, $p < .001$, mit einem schwachen Effekt, $r = .23$. Damit wird die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen.

4.3.2 Effekte der Experimentiereinheit

Hypothese 3

- H0: Nach der Messeinheit gibt es keinen Unterschied bezüglich der Einschätzung zur Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein.
- H1: Nach der Messeinheit gibt es einen Unterschied bezüglich der Einschätzung zur Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein.

Ein Wilcoxon-Test wurde durchgeführt, um den Unterschied in den Mittelwerten der Wahrscheinlichkeitseinschätzung vor und nach der Experimentiereinheit zu überprüfen. Die Wahrscheinlichkeitseinschätzung liegt vor der Experimentiereinheit bei 69.89 % ($SD = 31.53$; $SE = 2.09$). Nach der Experimentiereinheit veränderte sich die Wahrscheinlichkeitseinschätzung auf 85.09 % ($SD = 25.22$; $SE = 1.67$).

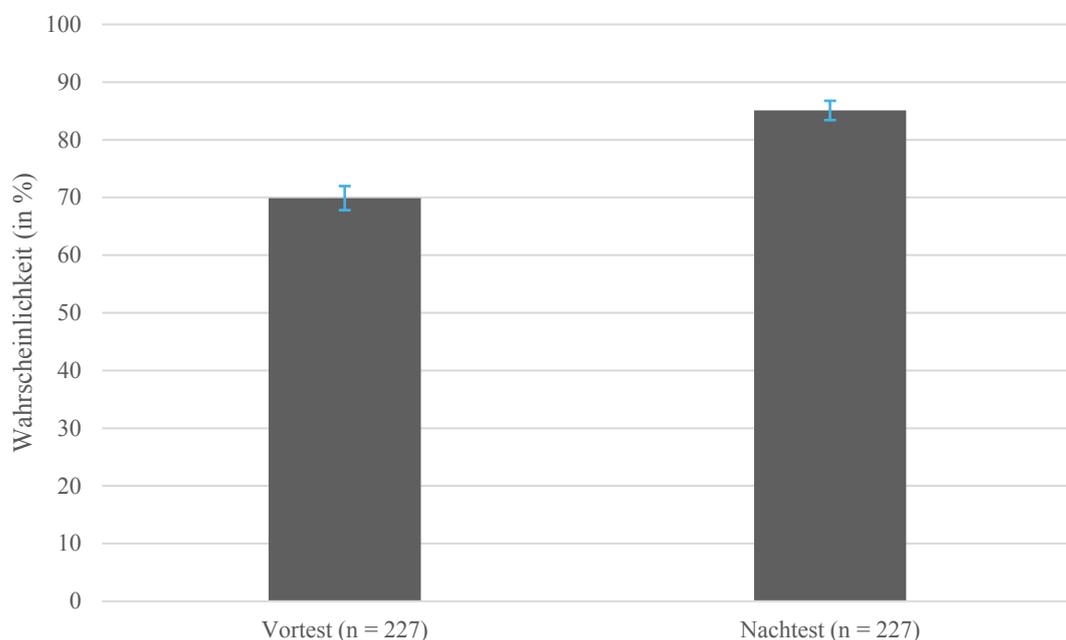


Abbildung 14: Veränderung der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein. Vorher-Nachher-Vergleich. $n = 227$.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Teststatistik zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Zeitpunkten, $z = 6.46$, $p < .001$, mit einem mittleren Effekt, $r = .4$. Damit wird die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen.

Hypothese 4

- H0: Nach der Messeinheit gibt es keinen Unterschied in der Risikowahrnehmung gegenüber Radioaktivität im Vergleich zu vor der Messeinheit.
- H1: Nach der Messeinheit gibt es einen Unterschied in der Risikowahrnehmung gegenüber Radioaktivität im Vergleich zu vor der Messeinheit.

Ein Wilcoxon-Test wurde durchgeführt, um den Unterschied in den Mittelwerten der Risikowahrnehmung vor und nach der Experimentiereinheit zu überprüfen. Die Risikowahrnehmung liegt vor der Experimentiereinheit bei 4.52 ($SD = 1.60$; $SE = .11$). Nach der Experimentiereinheit veränderte sich die Risikowahrnehmung auf 3.95 ($SD = 1.76$; $SE = .12$).

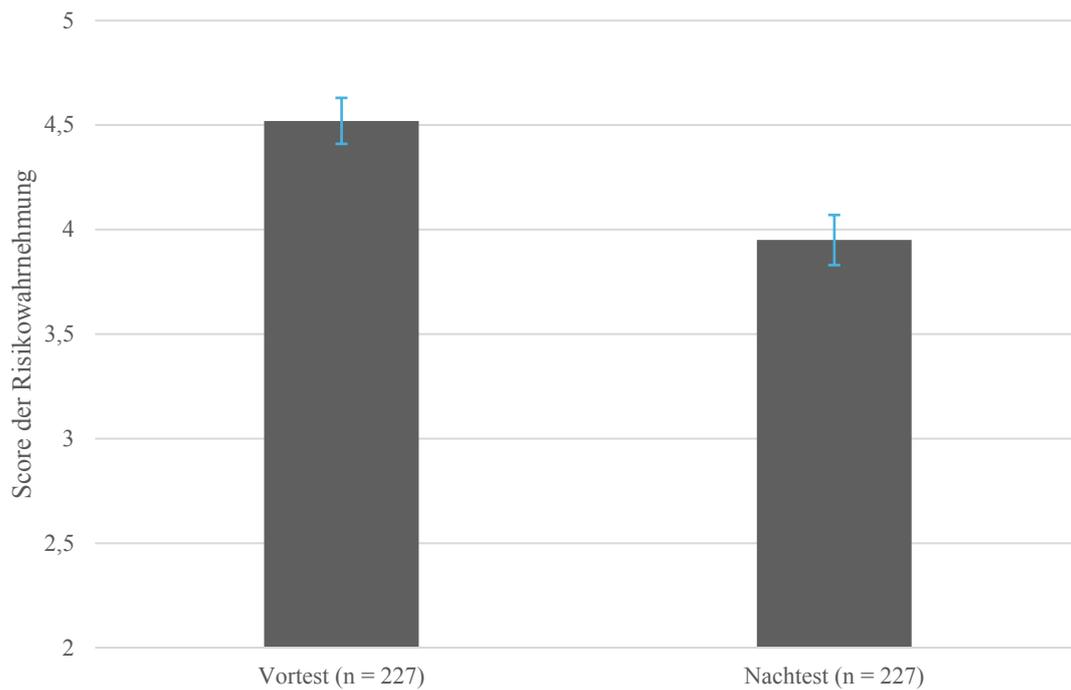


Abbildung 15: Veränderung der Risikowahrnehmung. Vorher-Nachher-Vergleich (Score von zwei bis zehn möglich). $n = 227$.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Teststatistik zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen der Risikowahrnehmung, $z = 4.51$, $p < .001$, mit einem schwachen bis mittleren Effekt, $r = .3$. Damit wird die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen.

Hypothese 5

- H0: Es besteht kein Unterschied im Wissen der Schülerinnen und Schüler über Radioaktivität nach der Messeinheit.
- H1: Es besteht ein Unterschied im Wissen der Schülerinnen und Schüler über Radioaktivität nach der Messeinheit.

Ein Wilcoxon-Test wurde durchgeführt, um den Unterschied in den Mittelwerten des Wissensstands der Schülerinnen und Schüler vor und nach der Experimentiereinheit zu überprüfen. Der Wissensscore liegt vor der Experimentiereinheit bei 10.48 ($SD = 2.23$; $SE = .15$). Nach der Messeinheit veränderte sich der Wissensscore auf 11.09 ($SD = 1.68$; $SE = .12$).

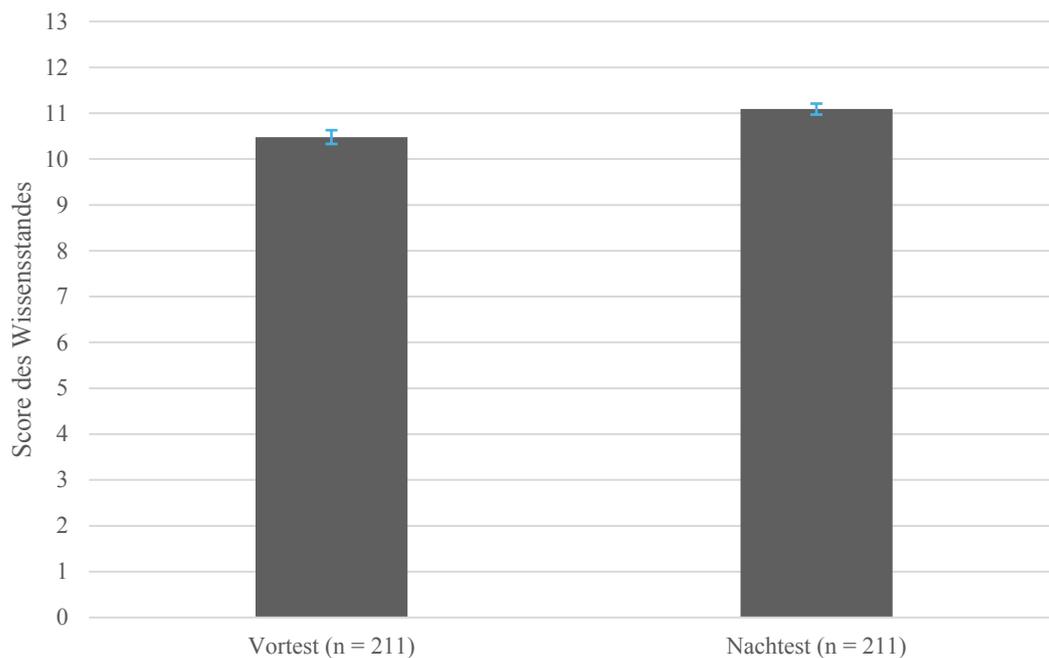


Abbildung 16: Veränderung des Wissensstandes. Vorher-Nachher-Vergleich (Score von null bis dreizehn möglich). $n = 211$.

Quelle: Eigene Darstellung.

Die Teststatistik zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen dem Wissensstand, $z = 3,66$, $p < .001$, mit einem schwachen Effekt, $r = .25$. Damit wird die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese angenommen.

4.3.3 Korrelationen zwischen Wissen und Risikowahrnehmung

Hypothese 6

- H0: Es gibt keinen Zusammenhang zwischen dem Wissen über Radioaktivität und der Risikowahrnehmung bezüglich Radioaktivität.
- H1: Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem Wissen über Radioaktivität und der Risikowahrnehmung bezüglich Radioaktivität.

Eine Spearman-Korrelationsanalyse wurde durchgeführt, um einen Zusammenhang bezüglich des Wissenstandes der Schülerinnen und Schüler und der Risikowahrnehmung zu überprüfen. Die Teststatistik zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Wissensstand und der Risikowahrnehmung, $r = -.11$, $p = .11$. Damit wird die Nullhypothese angenommen.

5 Diskussion

5.1 Interpretation der qualitativen Ergebnisse der Unterrichtsdiskussion

Die Ergebnisse aus Abschnitt 4.1 verdeutlichen ein wiederkehrendes Muster in der subjektiven Einschätzung der Radioaktivität von Proben, das häufig im Widerspruch zu den tatsächlichen Messwerten steht. Eine besonders auffällige Beobachtung war, dass Proben, die in einem historischen Kontext mit Radioaktivität assoziiert werden, intuitiv als hochradioaktiv eingeschätzt wurden. Dazu zählen Proben wie der Flussufersand aus Christinovka, Sedimente aus dem Bravo-Krater und der Sand vom Strand des Bikini-Atolls. Bei der Vorstellung dieser Proben äußerten die Lernenden mehrfach die Meinung, dass diese Orte zwangsläufig mit hoher Radioaktivität belastet seien, was sich in Aussagen wie „wenn es von da kommt, dann ist da bestimmt viel drin“ widerspiegelt. Diese Reaktionen zeigen, dass trotz der zeitlichen Distanz zu den historischen Ereignissen weiterhin eine hohe Radioaktivität und die damit verbundene Gefahr angenommen wird. Diese Wahrnehmungen werden nicht zuletzt durch Darstellungen in Nachrichtenmedien beeinflusst, die oft ein verzerrtes Bild, die Thematik der Radioaktivität betreffend, vermitteln (vgl. Slovic, 1987, S. 281). Auch weniger formelle Quellen wie Filme und Comics können Fehlvorstellungen prägen und zu dieser Wahrnehmung beitragen.

Im Gegensatz dazu wurden Alltagsgegenstände wie Armbanduhren, Paranüsse oder Pottasche oft als wenig radioaktiv eingeschätzt, da die Lernenden es für unwahrscheinlich hielten, dass alltägliche Objekte Radioaktivität enthalten. Als besondere Überraschung galt für die Schülerinnen und Schüler, dass die italienische Fliese und die Fliese mit Blumenmuster, eine hohe Menge an Radioaktivität aufweisen. Dies war unerwartet, da Fliesen als unscheinbare Alltagsgegenstände gelten. Die Radioaktivität stammte von den verwendeten glasierenden Materialien, die bei der Bemalung der Fliesen eingesetzt wurden.

Ein weiteres bemerkenswertes Muster zeigte sich bei der Reaktion auf das Wort „Uran“. Während einige Schülerinnen und Schüler nicht wussten, was Uran genau ist, erzeugte das Wort bei anderen eine starke Assoziation mit hoher Radioaktivität. Diese unterschiedlichen Reaktionen spiegeln die allgemeinen Unsicherheiten und die mangelnde Aufklärung über das Thema wider. Das Wort „Uran“ scheint als Auslöser für Assoziationen mit

Gefahr und hoher Radioaktivität zu gelten, unabhängig vom tatsächlichen Wissen über das Element.

Die subjektiven Einschätzungen der Lernenden waren geprägt von verschiedenen Überlegungen und Ansichten. Ein Schüler äußerte zum Beispiel: „Oh, die Probe muss bestimmt viel Radioaktivität haben“, während ein anderer entgegnete: „Aber das kannst du ja anfassen, passiert doch nichts“. Diese Dialoge verdeutlichen einerseits, dass es eine hohe Unsicherheit und ein mangelndes Vertrauen in das eigene Urteilsvermögen gibt. Besonders bezeichnend ist die wiederkehrende Antwort „keine Ahnung, woher soll ich das wissen?“, die sowohl auf eine weit verbreitete Unwissenheit als auch auf ein fehlendes Vertrauen in die eigenen Kenntnisse hinweist. Andererseits kann diese Unsicherheit auch als Ausdruck einer reflektierten Selbsteinschätzung interpretiert werden. Die Lernenden sind sich bewusst, dass es oftmals nicht möglich ist, alle wesentlichen Informationen im Voraus zu kennen und auf Grundlage fehlenden Wissens ein Urteil zu fällen. Diese Einsicht zeigt eine realistische Einschätzung der Grenzen des eigenen Wissens.

Auch die visuelle Wahrnehmung der Proben spielt eine wesentliche Rolle. In Bezug auf die Frage, weshalb man denken könnte, dass Uranglas eine hohe Menge an Radioaktivität aufweise, wurde die Annahme geäußert, dass visuelle Merkmale wie das Leuchten von Uranglas einen Hinweis auf die Menge an Radioaktivität und damit auf die Gefährlichkeit eines Objektes geben könnten. Dies verdeutlicht, dass visuelle Charakteristika häufig als Indikatoren für Radioaktivität herangezogen werden, obwohl eine Korrelation nicht zwangsläufig gegeben ist.

Für die Lernenden war es erstaunlich, dass das auf Messwerten basierende Ranking offenbarte, dass die Proben mit historischem Bezug eine geringere Menge an Radioaktivität aufwiesen als angenommen. Es wurde ersichtlich, dass historische Assoziationen sowie Erscheinungsbilder von Proben die subjektiven Einschätzungen maßgeblich beeinflussen und in vielen Fällen zu Fehleinschätzungen führen. Die Diskrepanz zwischen subjektiver Wahrnehmung und objektiven Messwerten unterstreicht die Relevanz einer fundierten Aufklärung über Radioaktivität und deren tatsächliche Gefahren, um Fehlvorstellungen aufzulösen und unbegründete Ängste zu reduzieren.

5.2 Interpretation der deskriptiven Ergebnisse

Die Ergebnisse aus Abschnitt 4.2 offenbaren einige unerwartete Erkenntnisse, die im Folgenden näher beleuchtet werden.

Vor der Einheit schätzten die Schülerinnen die Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein, geringfügig höher ein als ihre männlichen Mitschüler. Die Ergebnisse aus Tabelle 4 zeigen, dass sowohl männliche als auch weibliche Schüler nach der Einheit eine signifikant höhere Einschätzung, bezüglich der Wahrscheinlichkeit, Radioaktivität ausgesetzt zu sein, aufweisen. Bei den Schülern stieg die wahrgenommene Wahrscheinlichkeit um rund 17 %, während sie bei den Schülerinnen um etwa 14 % zunahm. Diese Beobachtung lässt den Schluss zu, dass die Einheit das Bewusstsein für das dauerhafte Vorhandensein einer Exposition durch Radioaktivität merklich gesteigert hat.

Als mögliche Ursache für diese Veränderung kann die Wahrnehmung von Radioaktivität, als etwas, vor dem es sich als Mensch zu schützen gilt, angeführt werden, obwohl eine vollständige Vermeidung einer Exposition schlichtweg unmöglich ist. Die Messeinheit hat dazu beigetragen, das Bewusstsein der Lernenden zu schärfen, indem das eigenständige Messen der Proben ihnen verdeutlichte, dass selbst in alltäglichen Gegenständen geringe Mengen an Radioaktivität vorhanden sind.

Vor der Messeinheit schätzten die männlichen Schüler die Gefahr von Radioaktivität im Alltag geringer ein als ihre Mitschülerinnen. Nach der Messeinheit nahm die Gefahren einschätzung durch Radioaktivität bei beiden Geschlechtergruppen ab, wobei die Schülerinnen weiterhin die Gefahr höher einschätzten als ihre männlichen Mitschüler.

In Übereinstimmung mit den Beobachtungen zur Gefahren einschätzung von Radioaktivität im Alltag schätzten die männlichen Schüler die Auswirkungen von Radioaktivität im Vergleich zu anderen Risiken wie Rauchen oder Autofahren als geringer ein als ihre Mitschülerinnen. Nach der Unterrichtseinheit wurden die Auswirkungen im Vergleich zu bekannten Risiken insgesamt als weniger gefährlich eingeschätzt, sowohl von den Schülern als auch von den Schülerinnen, wobei die Schülerinnen die Auswirkungen von Radioaktivität weiterhin höher einschätzten als die männlichen Schüler. Der Index zur Risikowahrnehmung, der aus den Antworten zur Gefahren abschätzung von Radioaktivität im Alltag und der Einschätzung der Auswirkung von Radioaktivität im Vergleich zu anderen

Risiken gebildet wurde, bestätigt diese Beobachtungen, was wenig überraschend ist. Die Auswertung des Index zeigte, dass die Schülerinnen sowohl vor als auch nach der Messeinheit eine höhere Risikowahrnehmung aufweisen als ihre männlichen Mitschüler. Diese Resultate lassen den Schluss zu, dass Schülerinnen eine höhere Bewertung der Gefahr von Radioaktivität aufrechterhalten. Insgesamt hat die Messeinheit dazu beigetragen, das Verständnis für die Gefahren von Radioaktivität im Vergleich zu anderen alltäglichen Risiken, wie Rauchen oder Autofahren, zu relativieren.

In Bezug auf die Selbsteinschätzung des Wissensstandes zeigte sich, dass männliche Schüler ein größeres Vertrauen in ihren Kenntnisstand aufweisen als ihre Mitschülerinnen. Nach der Messeinheit wurde ein nahezu ausgeglichener Unterschied zwischen den Gruppen beobachtet, da beide Gruppen ihre Einschätzung auf ein ähnliches Niveau an hoben. Besonders hervorzuheben ist dabei, dass das Selbstvertrauen der Schülerinnen in ihren Kenntnisstand stärker gesteigert wurde als das der Schüler, was darauf hindeutet, dass die Einheit insbesondere bei den Schülerinnen zu einem deutlichen Zuwachs an Selbstvertrauen führte. Die Resultate deuten darauf hin, dass die Einheit dazu beigetragen hat, das Selbstvertrauen der Schülerinnen und Schüler bezüglich ihres selbst eingeschätzten Wissensstandes zu steigern und sich besser auf die Klausur in dieser Thematik vorbereitet zu fühlen.

Die abschließende Einschätzungsfrage bezüglich der Menge an Radioaktivität von Proben, die ein charakteristisches Leuchten aufweisen, ergab, dass die Einschätzung der Menge an Radioaktivität über alle Proben hinweg nach der Einheit größer war. Dies impliziert, dass die charakteristische Farbe eines Objekts weiterhin und sogar zunehmend mehr mit der Menge an Radioaktivität in einer Probe assoziiert wird. Diese Beobachtung gilt als überraschend, da die Schülerinnen und Schüler während des Messens der Proben erkennen sollten, dass das Aussehen oder die Farbe eines Objektes kein verlässliches Indiz für die Menge an Radioaktivität ist.

Abschließend sei gesagt, dass insgesamt deutliche geschlechtliche Unterschiede in Bezug auf die Einschätzung von Gefahren und Risiken hinsichtlich Radioaktivität festzustellen sind. Die Messeinheit hat insgesamt einen positiven Beitrag zu einer fundierteren Einschätzung von Risiken und der Wahrscheinlichkeit einer Exposition durch Radioaktivität geleistet, mit der Einschränkung, dass die charakteristischen Farben des Uranglases fälschlicherweise sogar verstärkt mit Radioaktivität assoziiert wurden.

5.3 Interpretation der Hypothesentests

Die Ergebnisse aus Abschnitt 4.3 zeigen, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Schülerinnen und Schülern in der Einschätzung der Wahrscheinlichkeit gibt, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein. Diese Befunde weisen darauf hin, dass sowohl männliche als auch weibliche Schüler die Wahrscheinlichkeit einer Exposition durch Radioaktivität ähnlich bewerten.

Allerdings zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede in der Risikowahrnehmung bezüglich Radioaktivität. Die Resultate deuten darauf hin, dass Schülerinnen eine höhere Risikowahrnehmung haben als ihre männlichen Mitschüler. Diese Beobachtung deckt sich mit zahlreichen Studien, die gezeigt haben, dass weibliche Personen im Allgemeinen eine höhere Risikowahrnehmung haben, insbesondere hinsichtlich technologischer Risiken und Umweltgefahren (vgl. Raue et al., 2018, 38 f.). Eine mögliche Erklärung liefert die „health and safety concern hypothesis“, die besagt, dass Frauen aufgrund ihrer sozialen Rolle als Hauptverantwortliche für Gesundheit und Sicherheit tendenziell eine höhere Sensibilität gegenüber potenziellen Gefahren aufweisen (vgl. Raue et al., 2018, S. 42). Diese Hypothese wurde in verschiedenen Studien bestätigt, die zeigen, dass Frauen größere Bedenken bezüglich gesundheitlicher und sicherheitsbezogener Risiken haben.

Zusätzliche Unterstützung für die Hypothese bieten die Ergebnisse von Bassett Jr. et al. (1996, 309 ff.), die zeigen, dass Frauen im Vergleich zu Männern generell eine höhere Risikowahrnehmung haben, insbesondere bei nuklearen Risiken. Eine Studie zu den Ansichten von Anwohnern bezüglich der Vor-Ort-Lagerung hochradioaktiver Abfälle ergab, dass Frauen sich stärker um die Risiken der Lagerung und die möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit und die Sicherheit sorgen als Männer (vgl. Bassett Jr. et al., 1996, 317 f.). Geschlechterunterschiede in der Risikowahrnehmung könnten durch verschiedene Faktoren erklärt werden, einschließlich des unterschiedlichen Grades an Vertrauen in Institutionen und des Zugangs zu Informationen (vgl. Bassett Jr. et al., 1996, S. 312).

Darüber hinaus wurde ein signifikanter Einfluss der Experimentiereinheit auf die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein, nachgewiesen. Nach der Experimentiereinheit wurde eine durchschnittliche Steigerung der Einschätzung bezüglich einer Exposition durch Radioaktivität um 15 % beobachtet. Eine weitere bemerkenswerte Beobachtung in Bezug auf die Forschungsfrage ist die

Verringerung der Risikowahrnehmung nach der Messeinheit. Insgesamt schätzten die Schülerinnen und Schüler das Risiko durch Radioaktivität nach der Messeinheit geringer ein als zuvor. Diese Ergebnisse könnten durch den Einfluss von Wissen auf die Risikowahrnehmung erklärt werden. Studien haben gezeigt, dass ein höheres Wissen über ein Risiko tendenziell zu einer geringeren Risikowahrnehmung führt (vgl. Raue et al., 2018, S. 40). Dies impliziert, dass Bildung und Vermittlung weiterführender Informationen wirksame Mittel zur Reduktion übermäßiger Ängste und Sorgen sind.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt des Erhebungsverfahrens ist die eigenständige Durchführung von Messungen mit einem Geiger-Müller-Zählrohr durch die Schülerinnen und Schüler. Die Lernenden konnten feststellen, dass überall eine gewisse, wenngleich geringe, Menge an Radioaktivität vorhanden ist. Diese praktische Erfahrung kann als Grund einer Veränderung der Wahrnehmung der Wahrscheinlichkeit, im Leben Radioaktivität ausgesetzt zu sein, sowie zu einer Beeinflussung der Risikowahrnehmung, interpretiert werden. Die Schülerinnen und Schüler erkannten, dass die vorliegende Probe zwar radioaktiv, jedoch ohne Einschränkungen zugänglich und messbar war. Dies führte zu einer Sensibilisierung für die Erkenntnis, dass Radioaktivität nicht grundsätzlich als gefährlich einzustufen ist, da sie überall vorhanden ist und eine Exposition nicht vermieden werden kann.

Zudem wurde deutlich, dass die Messeinheit einen positiven Einfluss auf den Wissensstand der Schülerinnen und Schüler hatte. Nach der Messeinheit konnte eine signifikante Verbesserung des Wissens festgestellt werden. Hinsichtlich des Wissensstandes vor der Messeinheit wurde außerdem untersucht, ob ein höherer Wissensstand mit einer geringeren Risikowahrnehmung bezüglich Radioaktivität einhergeht. Bei der Korrelationsanalyse zwischen dem Wissensstand und der Risikowahrnehmung ergab sich ein negativer, wenngleich auch nur kleiner Zusammenhang, der statistisch nicht signifikant war. Dies deutet darauf, dass mit zunehmendem Wissensstand die Risikowahrnehmung tendenziell abnimmt, wobei dieser Effekt, falls überhaupt existent, sehr gering ist. Diese Beobachtung, wenngleich auch nur schwach, steht in Übereinstimmung mit den Erkenntnissen aus der Literatur. Ein besonders relevanter Befund aus der Studie von Bassett Jr. et al. (1996, S. 317) ist die Korrelation zwischen dem Wissensstand und der Risikowahrnehmung. Die Untersuchung zeigt, dass ein höheres Wissen über ionisierende Strahlung und nukleare Abfälle mit einer geringeren Risikowahrnehmung einhergeht. Diese Erkenntnis

unterstützt die Beobachtungen aus der vorliegenden Studie, dass ein erhöhter Wissensstand dazu beiträgt, das wahrgenommene Risiko zu reduzieren.

Bassett Jr. et al. (1996, S. 317) fanden heraus, dass Männer tendenziell mehr Wissen über nukleare Themen haben und dadurch eine geringere Risikowahrnehmung aufweisen als Frauen. Interessanterweise zeigte sich in der vorliegenden Studie jedoch ein gegenteiliger Trend: Die männlichen Schüler wiesen zwar eine signifikant geringere Risikowahrnehmung als ihre Mitschülerinnen auf, besaßen jedoch ein geringeres Vorwissen zum Thema Radioaktivität als ihre Mitschülerinnen. Diese Beobachtung steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von Bassett Jr. et al. (1996, S. 309–319). Aufgrund der Tatsache, dass sich das Wissen jedoch über beide Geschlechter hinweg gesteigert und die Risikowahrnehmung verringert hat, deuten die Ergebnisse insgesamt darauf hin, dass Bildungsmaßnahmen, in diesem Falle die Messeinheit, effektive Mittel sein könnten, um die Risikowahrnehmung in der Bevölkerung zu beeinflussen und möglicherweise zu verringern (vgl. Bassett Jr. et al., 1996, S. 317).

Die Untersuchung zeigte, dass sowohl Schülerinnen als auch Schüler die Wahrscheinlichkeit einer Exposition durch Radioaktivität ähnlich einschätzen, jedoch weisen weibliche Lernende insgesamt eine höhere Risikowahrnehmung in Bezug auf Radioaktivität auf. Nach der Messeinheit nahm die Risikowahrnehmung bei allen Lernenden ab, was auf den Einfluss von Wissen auf die Einschätzung von Gefahren hinweist. Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von Bildungsmaßnahmen zur Vermittlung rational begründeter Kompetenzen des Risikoempfindens.

6 Zusammenfassung und Fazit

In dieser Arbeit wurde untersucht, wie die Messung von Radioaktivität in Umwelt- und Alltagsproben die Risikowahrnehmung von Schülerinnen und Schülern in Bezug auf ionisierende Strahlung beeinflusst. Ziel der Arbeit war es, den Einfluss experimenteller Lehrmethoden auf die Risikowahrnehmung im naturwissenschaftlichen Kontext zu erforschen. In Anlehnung an das Zitat von Wiesner et al. (2011, S. 108) wird deutlich, dass „unabhängig von politischen Überzeugungen, diese Themen angemessen und damit auch experimentell im Unterricht behandelt werden" sollten, da Experimente für den nachhaltigen Wissenserwerb im naturwissenschaftlichen Bereich unverzichtbar sind.

Die zentrale Forschungsfrage lautete: Inwiefern beeinflusst die Messung von Radioaktivität in verschiedenen Umwelt- und Alltagsproben die Risikowahrnehmung in Bezug auf ionisierende Strahlung? Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein Fragebogen entwickelt, der sowohl vor als auch nach der Experimentiereinheit von den Schülerinnen und Schülern ausgefüllt wurde. Die erhobenen Daten wurden mit statistischen Methoden ausgewertet, um Veränderungen in der Risikowahrnehmung und weitere, mit der Forschungsfrage in Beziehung stehende Zusammenhänge und Unterschiede, zu untersuchen.

Die Untersuchung ergab, dass die Durchführung der Experimentiereinheit zu einer signifikanten Verringerung der Risikowahrnehmung der Schülerinnen und Schüler bezüglich Radioaktivität geführt hat. Es zeigte sich, dass Schülerinnen eine höhere Sensibilität für die Risiken ionisierender Strahlung aufweisen als ihre männlichen Mitschüler. Ein weiterer bedeutender, rein qualitativer Befund war, dass Proben aus historisch belasteten Orten als riskanter eingestuft wurden, während alltägliche Gegenstände oft unterschätzt wurden.

Auf Grundlage der Ergebnisse kann die Forschungsfrage wie folgt beantwortet werden: Die Experimentiereinheit zur Messung von Radioaktivität in Umwelt- und Alltagsproben hat zu einer deutlichen Verringerung der Risikowahrnehmung bei den Schülerinnen und Schülern beigetragen. Dies unterstreicht die Bedeutung experimenteller Lehrmethoden im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Für zukünftige Studien sollten einige methodische Aspekte optimiert werden. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhöhen, wäre es sinnvoll, lediglich die gleichen

Jahrgangsstufen und Schulformen in die Untersuchung einzubeziehen. Zudem sollte ein streng einheitlicher Ablauf der Experimentiereinheit sichergestellt werden, da auch bereits geringfügige Unterschiede in der Durchführung zu variierenden Ergebnissen führen können. Weiterhin sollten bei einer erneuten Durchführung eine ausgeglichene Geschlechterverteilung gewährleistet sein, um eine Vergleichbarkeit sicherzustellen. Diese Punkte sollten bei einer weiteren Versuchsdurchführung berücksichtigt werden, um die Aussagekraft der Ergebnisse weiter zu erhöhen.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Erfahrungen aus dem TRANSENS-Projekt verdeutlicht haben, dass eigenständige Messungen von Radioaktivität oft zu überraschenden Erkenntnissen führen. Dies unterstreicht die Relevanz, solche Messeinheiten bereits frühzeitig im schulischen Kontext zu integrieren, um das Bewusstsein für Radioaktivität in der Umwelt und im Alltag nachhaltig zu schärfen. Zukünftige Forschungsprojekte könnten untersuchen, ob diese Maßnahmen für die Schülerinnen und Schülern auch auf lange Sicht einen positiven Beitrag leisten, um eine differenzierte Risikowahrnehmung in Bezug auf Radioaktivität zu entwickeln oder eine bereits existierende differenzierte Sichtweise beizubehalten.

Literaturverzeichnis

- Basel, J. & Henrizi, P. (Hrsg.). (2023). *Lehrbuch. Psychologie von Risiko und Vertrauen: Wahrnehmung, Verhalten und Kommunikation*. Springer.
- Bassett Jr., G. W., Jenkins-Smith, H. C. & Silva, C. (1996). On-Site Storage of High Level Nuclear Waste: Attitudes and Perceptions of Loyal Residents. *Risk Analysis*, 16(3), 309–319.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage). *Springer-Lehrbuch*. Springer.
- Bühner, M. (2021). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion* (4., korrigierte und erweiterte Auflage). *Pearson Studium - Psychologie*. Pearson.
- Bundesamt für Strahlenschutz. (2022). *Ionisierende Strahlung*.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (2020). *Ionisierende Strahlung*.
- DATAtab Team. (2024). *t-Test*. <https://datatab.de/tutorial/t-test>
- Demtröder, W. (2017). *Experimentalphysik 4: Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. Springer Berlin.
- Drögemüller, C., Krütli, P., Röhlig, K.-J., Schulz, W. & Seidl, Roman, Walther, Clemens (2021). Wissenschaft und Zivilgesellschaft: gemeinsame Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle- das Verbundvorhaben TRANSENS. *Strahlenschutzpraxis*, 27(3), 71–77.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics: And sex and drugs and rock 'n' roll* (4th edition). *MobileStudy*. Sage.
- Fluck, J. & Lichtenberg, H. (2021). *Formative Modellierung in Psychologie und Erziehungswissenschaft: Datengeleitete Indexbildung nach der MARI-Methode*. Springer VS.
- Hoch, T. & Küveler, G. (2023). *C/C++ anwenden: Technisch-wissenschaftliche Übungsaufgaben mit Lösungen* (2., überarbeitete und erweiterte Auflage). Springer Vieweg.
- Korff, S. (2012). Das Geiger-Müller-Zählrohr: Eine wissenschaftshistorische Analyse mit der Replikationsmethode. *NTM Zeitschrift für Geschichte der Wissenschaften, Technik und Medizin*, 20, 271–309.
- Krieger, H. (2023). *Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes* (7. Auflage 2023). Springer Berlin; Springer Spektrum.

- Michel, R. (2015). *Strahlenschutz und Risikowahrnehmung*. Institut für Radioökologie und Strahlenschutz, Leibniz Universität Hannover.
- Nationales Begleitgremium. (2023). *Endlagersuche dauert länger - was nun? Bilanz & Perspektiven*. https://www.nationales-begleitgremium.de/SharedDocs/Artikel/DE/Veranstaltungen_Workshops_Dossiers_Unterdokumente/Dossier_Unterdokus_Reihe_Zeitplanung_2023/BG_NBG-Veranstaltung_14_10_2023.html
- Kerncurriculum mit pandemiebedingten Hinweisen und Priorisierungen Naturwissenschaftlichen Gymnasium-Sek. I (2021).
- Raue, M., Lermer, E. & Streicher, B. (Hrsg.). (2018). *Psychological Perspectives on Risk and Risk Analysis: Theory, Models, and Applications*. Springer.
- Reinders, H., Bergs-Winkels, D., Prochnow, A. & Post, I. (Hrsg.). (2022). *Empirische Bildungsforschung: Eine elementare Einführung* (Neuaufgabe). Springer VS.
- Schulz, W., Krütli, P. & Walther, C. (im Druck). *Radioaktivitätsmessungen gemeinsam mit Bürgerinnen und Bürgern in TRANSENS: Ein Erfahrungsbericht*.
- Slovic, P. (1987). Perception of Risk. *Science*, 236(4799), 280–285. <https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.3563507>
- Slovic, P. (2012). The perception gap: Radiation and risk. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 68(3), 67–75. <https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/0096340212444870>
- TRANSENS. (2023a). *InnoverCity*. TU Clausthal. https://www.transens.de/veranstaltungen/veranstaltungsdetails?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=25577&cHash=b2b704eedb3fa41c0b881754cda2b86a
- TRANSENS. (2023b). *Ein weiteres erfolgreiches Projekttreffen in Darmstadt geht zu Ende*. TU Clausthal. https://www.transens.de/veranstaltungen/veranstaltungsdetails?tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Bnews%5D=24298&cHash=c6ea59d41675cba9f5ba22cbe611bbd1
- TRANSENS. (2024). *Transdisziplinäre Forschung zur Entsorgung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland*. TU Clausthal. <https://www.transens.de/>
- Vahlbruch, J.-W. (2016). Ausbildung im Strahlenschutz - Kompetenz erhalten, Vertrauen fördern. In B. Bucher & C. Wilhelm (Vorsitz), *Jahrestagung 2016 des Fachverbandes für Strahlenschutz*. Symposium im Rahmen der Tagung von Fachverband für Strahlenschutz e.V., Heringsdorf, Usedom.

Vogt, H.-G. & Vahlbruch, J.-W. (2019). *Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes* (7., überarbeitete Auflage). Hanser.

4. Radioaktivität erkenne ich an...

- Einem charakteristischen gelb- und/oder grünen Leuchten
- Einer hohen chemischen Reaktivität
- Es gibt keine äußerlichen Merkmale

5. Unter der Aktivität eines radioaktiven Präparates versteht man...

- Anzahl von Kernzerfällen pro Zeiteinheit
- Dichte eines radioaktiven Präparates
- Halbwertszeit eines radioaktiven Präparates
- Anzahl der gemessenen counts pro Sekunde im Detektor

6. Im Folgenden siehst Du drei verschiedene Objekte, die eine gemeinsame Besonderheit aufweisen: Sie können ein charakteristisches gelbes Leuchten abgeben!

Wie hoch schätzt Du die Menge an Radioaktivität in den Proben ein?

Probe: Abbildung

Armbanduhr mit
Leuchtzifferblättern



	1	2	3	4	5
Gar keine					Sehr hoch
	<input type="checkbox"/>				

Kompass mit Leuchtfarben



	1	2	3	4	5
Gar keine					Sehr hoch
	<input type="checkbox"/>				

Gelb leuchtende Glasschale



	1	2	3	4	5
Gar keine					Sehr hoch
	<input type="checkbox"/>				

Vielen Dank für Deine Teilnahme!

A.2 Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit radioaktiven in Schulen – Blatt 1: umschlossene radioaktive Stoffe



Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Schulen – Blatt 1: umschlossene radioaktive Stoffe

1. Einleitung

Dieses Blatt bezieht sich auf den Umgang mit radioaktiven Materialien, bei denen eine Inkorporation ausgeschlossen ist. Dazu gehören insbesondere umschlossene radioaktive Stoffe mit einer Bauartzulassung (BAZ), im Folgenden mit „Schulstrahler“ bezeichnet. Ebenfalls behandelt wird die Gefährdungsbeurteilung für Stoffe, die nicht im Sinne der DIN ISO 2919 [1] als umschlossene radioaktive Präparate angesehen werden können, bei denen aber eine Inkorporation praktisch ebenfalls ausgeschlossen sein sollte, wie z.B. Uranglasknöpfe oder Auernetze.

Bei Schulstrahlern mit BAZ sind insbesondere die Vorschriften aus dem Bauartzulassungsschein zu berücksichtigen.

Da lediglich eine äußere Strahlenexposition auftreten kann, sind insbesondere die Grundregeln des Strahlenschutzes (siehe „Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Schulen - allgemeine Maßnahmen“) zu beachten!

Daher sind insbesondere Radionuklide mit γ -Strahlung zu berücksichtigen, da sowohl α - als auch β -Strahlung keine durchdringende Strahlungsarten sind und damit die tieferliegenden Organe geschützt sind.

2. Grundsätzliches

Während die Reichweite von α -Strahlung in Luft nur wenige Zentimeter beträgt und bereits ein Blatt Papier ausreichend abschirmt, kann die Reichweite von β -Strahlung mit folgender Zahlenwertgleichung abgeschätzt werden:

$$R_{\max} = \frac{E}{2 \cdot \rho}$$

Dabei ergibt sich die maximale Reichweite R_{\max} in cm, wenn die Energie E der Betastrahlung in MeV und die Dichte ρ des durchdrungenen Materials in g/cm^3 angegeben wird. Zur vollständigen Abschirmung von Betastrahlen genügt also für an Schulen übliche Präparate wie Sr-90 eine Wasser- oder Plexiglasschicht von etwa 1 cm Dicke. Daher muss im Rahmen dieser Gefährdungsbeurteilung lediglich für γ -strahlende Nuklide die externe Strahlenexposition berücksichtigt werden.

Bei bekannter Aktivität A kann die Umgebungsäquivalentdosisleistung \dot{H} durch γ -Strahlung mit folgender Formel abgeschätzt werden:

$$\dot{H} = \Gamma_{\gamma} \cdot \frac{A}{r^2}$$

Die Dosisleistungsfaktoren Γ_{γ} können der Literatur, z.B. [2] entnommen werden. Als Aktivität A ist die aktuelle Aktivität des umschlossenen radioaktiven Stoffes einzusetzen. Diese muss, je nach Nuklid und Datum des Erwerbs, gemäß

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

berechnet werden, wobei A_0 die Aktivität bei Erwerb des Stoffes, $T_{1/2}$ die Halbwertszeit und t die seit dem Erwerb vergangene Zeit bezeichnet.

Tabelle 1 enthält für typische Schulstrahler berechnete Dosisleistungen in 10 cm Abstand vom Strahler, sowie eine Abschätzung der effektiven Dosis für den hypothetischen Fall einer 90-minütigen Bestrahlung in diesem Abstand. Nahezu reine Beta- oder Alphastrahler ohne nennenswerten Gamma-Anteil wurden nicht berücksichtigt.

Soll die Dosisleistung für andere Abstände als 10 cm abgeschätzt werden, ist das Abstandsquadratgesetz zu verwenden:

$$\dot{H}_1 \cdot r_1^2 = \dot{H}_2 \cdot r_2^2$$

So verringert die Vergrößerung des Abstandes um einen Faktor 10 (von 10 cm auf 1 m) die Dosisleistung um einen Faktor 100.

3. Dosisleistung durch Schulstrahler

Für gängige Schulstrahler wurde die Dosisleistung in 10 cm Abstand berechnet (Tabelle 1). Man erkennt anhand der Werte in Tabelle 1, dass die aus den Strahlern resultierenden Dosisleistungen bei korrekter Handhabung sehr klein sind. Zum Vergleich: Unter normalen Bedingungen beträgt die Dosisleistung beim Fliegen aufgrund von natürlicherweise vorhandener kosmischer Strahlung ca. 5 $\mu\text{Sv/h}$. Selbst bei der Verwendung des Strahlers mit der höchsten Dosisleistung wird dieser Wert in 10 cm Abstand noch deutlich unterschritten. Auch der Grenzwert von 1 mSv pro Kalenderjahr wird insgesamt um einige Größenordnungen unterschritten. Ebenso ist im Vergleich zur gesamten natürlichen Strahlenexposition (ca. 2 mSv pro Kalenderjahr) die zusätzliche Dosis durch

Schulexperimente bei korrekter Handhabung und Berücksichtigung der Strahlenschutzgrundregeln vernachlässigbar klein.

4. Präparate mit natürlicher Radioaktivität

4.1. Pottasche

Mit empfindlichen Zählrohren kann der Nachweis von K-40 in Pottasche geführt werden. Da die Aktivität von K-40 in Pottasche (Kaliumcarbonat) unterhalb der Freigrenzen liegt, diese als Backpulver für Lebkuchengebäck frei im Handel erhältlich ist und damit zum Verzehr (Inkorporation) vorgesehen ist, sind hier keine weiteren Schutzmaßnahmen zu beachten.

4.2. Radioaktive Gesteine

Werden radioaktive Gesteine, wie Columbit oder Pechblende (Uranerz) im Unterricht verwendet, so ist darauf zu achten, dass diese Erze nur in einer verschlossenen Dosen oder in Epoxidharz eingegossen den Schülern und Schülerinnen in die Hände gegeben werden, um eine direkte Kontamination sicher zu verhindern. Bei unbekannter Aktivität ist die zuständige Behörde (in Niedersachsen die Gewerbeaufsicht) zu informieren, wenn das Dosisleistungskriterium von $1 \mu\text{Sv/h}$ in 10 cm Abstand von der berührbaren Oberfläche überschritten wird (§ 5, Abs. 1, StrlSchV). Wird dies eingehalten und ist das radioaktive Gestein so verpackt, dass eine innere Exposition mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann, ist der Umgang damit anzeige- und genehmigungsfrei.

4.3. Radioaktive Gläser und Keramiken

Mit Uran gefärbte Gläser oder Keramiken sind so zu verwenden, dass keine Kontamination möglich ist. Da das Uran im Regelfall als Farbstoff fest mit dem Glas oder der Keramik verbunden ist, ist diese Vorgabe in der Regel erfüllt. In den meisten Fällen ist aufgrund der geringen Aktivität auch die Dosisleistung gering. Bei unbekannter Aktivität und dem Verdacht auf deutlich erhöhte Dosisleistungen ist die zuständige Behörde zu kontaktieren. Wenn das Dosisleistungskriterium von maximal $1 \mu\text{Sv/h}$ in 10 cm Abstand von der berührbaren Oberfläche eingehalten wird, ist der Umgang anzeige- und genehmigungsfrei.

4.4. Uhren oder andere Geräte mit radioaktiven Leuchtziffern

Geräte (Uhren, Wecker, Anzeigergeräte aus Cockpits, ...), bei denen radioaktive Leuchtziffern verwendet wurden, können anzeige- und genehmigungsfrei verwendet werden, wenn eine innere Exposition ausgeschlossen und die Dosisleistung in 10 cm Abstand kleiner ist als $1 \mu\text{Sv/h}$. Besonders zu beachten ist der Umgang mit Uhren mit radiumhaltigen Leuchtzifferblättern, die von der Übergangsvorschrift in Anlage III Absatz 5 der StrlSchV von 1989 bewusst ausgenommen wurden.

Für die Verwendung von Konsumgütern wie Urangläsern oder Uhren, die auf der Grundlage von früheren Regelungen genehmigungsfrei hergestellt wurden, ist auf Grund von § 206 Absatz 2 des Strahlenschutzgesetzes **keine Genehmigung** erforderlich.

Weiterhin können auf Grund von § 218 StrlSchG Absatz 2 sonstige Produkte, die den Anforderungen der Anlage III Teil A Nummer 5, 6 oder 7 zur Strahlenschutzverordnung in der Fassung vom 30. Juni 1989 entsprechen und vor dem 1. August 2001 erworben worden sind, weiter genehmigungs- und anzeigefrei verwendet, gelagert oder beseitigt werden. Das betrifft Geräte, die Skalen oder Anzeigemittel mit festhaftenden Leuchtmitteln enthalten, uran- und thoriumhaltige Glaswaren, uranhaltige glasierte keramische Gegenstände oder Porzellanwaren und zu Leuchtzwecken bestimmte gastechnische Geräte.

5. Dosisleistung durch andere umschlossene Strahler

Neben den Schulstrahlern werden auch andere Präparate an Schulen genutzt, die zwar nicht als umschlossene Stoffe im Sinne der DIN ISO 2919 gelten, bei denen aber trotzdem eine Inkorporation von radioaktiven Stoffen praktisch ausgeschlossen werden kann. Zu diesen Präparaten gehören z.B. Uranglasknöpfe oder Auernetze.

- Uranglasknöpfe können bei der Firma LD Didactics erworben werden. Die Aktivität der Uranglasknöpfe liegt mit ca. 200 Bq unterhalb der Freigrenze. Eine Zunahme der Dosisleistung in 1m Entfernung ist nicht messbar. Selbst an der berührbaren Oberfläche lässt sich eine erhöhte Dosisleistung durch Gammastrahlung nicht einwandfrei nachweisen. Versuche zur Radioaktivität sind also mit diesem Präparat nur mit einem für Beta- und/oder Alpha-Strahlung empfindlichen Zählrohr möglich.

Natürlich sollte eine Inkorporation durch Verschlucken vermieden werden. Allerdings würde selbst in diesem unrealistischen Fall bei vollkommender Resorption des Urans im Körper lediglich eine Inkorporationsdosis (50-Jahre effektive Folgedosis) in Höhe von ca. 9 μSv (Erwachsener) bzw. 13 μSv (Jugendlicher) resultieren.

- Auernetze der Firma Mekruphy enthalten lt. Messungen des LfU in Bayern max. 2,5 kBq Th-232 und liegen damit ebenfalls unterhalb der Freigrenze. Auch hier ist in 1m Abstand keine erhöhte Dosisleistung messtechnisch nachweisbar. Direkt an der berührbaren Oberfläche beträgt die zusätzliche Dosisleistung ca. 0,07 $\mu\text{Sv/h}$ und ist damit kleiner als die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition in Deutschland. Auch hier ist eine Inkorporation zu vermeiden und dafür zu sorgen, dass die verklebten Plastikdosen dauerhaft geschlossen bleiben.

6. Literatur

[1] § 5 Absatz 1 StrlSchV i. V. m. § 82 Abs. 3 StrlSchV und Anlage 3 Teil B Nummer 8 StrlSchV

[2] DIN ISO 2919 - Strahlenschutz – Umschlossene radioaktive Stoffe – Allgemeine Anforderungen und Klassifikation, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin

[3] Vogt, H.-G.; Schulz, H.: Grundzüge des praktischen Strahlenschutzes, 6. überarbeitete Auflage, Hanser Verlag, 2011, ISBN 978-3-446-42593-4

Tabelle 1: Abschätzung der Strahlenexposition für typische Schulstrahler

Probe	Dominierendes Nuklid	Umgebungsäquivalentdosisleistung \dot{H} in 10 cm Entfernung in $\mu\text{Sv/h}$ (Brutto)	Umgebungsäquivalentdosisleistung \dot{H} in 1 m Entfernung in $\mu\text{Sv/h}$ (Brutto)	effektive Dosis einer Schülerin in 1 m Abstand nach 90 Minuten in μSv
Sediment von Grubenwasser, Kamp-Lintfort	U-238/Ra-226	0,46	0,0046	0,0069
Christinowka (Ukraine) Flussufersand	Cs-137	0,17	0,0017	0,0026
Braunkohle Tagebau Wackersdorf	U-238	0,23	0,0023	0,0035
Lenkteich, Sediment Lengenfeld, Sachsen	U-238/Ra-226	0,29	0,0029	0,0044
Sand Lagune, Bikini-Atoll	Cs-137	0,18	0,0018	0,0027
Bravokrater Sediment, Bikini-Atoll	Cs-137	0,15	0,0015	0,0023
Erdölablagerungen aus Rohrleitungen, dunkel	Ra-226	0,89	0,0089	0,013
Granit, Oberpfalz mit Pechblende-Einschlüssen	U-238	0,15	0,0015	0,0023
Schiefer, Randstad	U-238	0,13	0,0013	0,0020
Mineraldünger, Rohphosphatdünger	U-238	0,14	0,0014	0,0021
Kaliumchlorid (0,95g)	K-40	0,19	0,0019	0,0029
1 g Erde (Hundsbühl)	U-238	0,11	0,0011	0,0017
Graspelletts, Bayern 1986	Cs-137	0,17	0,0017	0,0026
Thorium-Schweißnadeln	Th-232	0,23	0,0023	0,0035

Probe	Dominierendes Nuklid	Umgebungsäquivalentdosisleistung \dot{H} in 10 cm Entfernung in $\mu\text{Sv/h}$ (Brutto)	Umgebungsäquivalentdosisleistung \dot{H} in 1 m Entfernung in $\mu\text{Sv/h}$ (Brutto)	effektive Dosis einer Schülerin in 1 m Abstand nach 90 Minuten in μSv
Inkrustierungen Steinkohlebergbau	U-238/Ra-226	0,15	0,0015	0,0023
Uranglasperlen (Schauglas)	U-238	0,20	0,0020	0,0030
Schraubglühkörper	Th-232	0,25	0,0025	0,0038
Paranüsse	Ra-226	0,16	0,0016	0,0024
Kompass	Ra-226	Geschlossen: 0,77 ; offen: 0,89	Geschlossen: 0,0077 Offen: 0,0089	Geschlossen: 0,012 Offen: 0,013
Armbanduhr	Ra-226	0,15	0,0015	0,0023
Schaltknöpfe	Ra-226	0,28	0,0028	0,0042
Glühstrümpfe (Auernetz)	Th-232	0,21	0,0021	0,0032
Steinkohle	U-238	0,09	0,0009	0,0014
Pottasche (1 Stück)	K-40	0,22	0,0022	0,0033
Burgsandstein, Zeckern	U-238	0,20	0,0020	0,003
Granit aus dem Fichtelgebirge Torbenit-Einschlüssen	U-238	0,07	0,0007	0,0011
Handbemalte Dekoscheibe	U-238	0,35	0,0035	0,0053
Granit Bado Ling, China	U-238	0,17	0,0017	0,0026
Schwermineralkonzentrat	U-238	0,15	0,0015	0,0023
Monazitsand, Kerala, IND	Th-232	0,85	0,011	0,016
Pechblende (Uran-Erz)	U-238	0,64	0,0064	0,0096

Probe	Dominierendes Nuklid	Umgebungsäquivalentdosisleistung \dot{H} in 10 cm Entfernung in $\mu\text{Sv/h}$ (Brutto)	Umgebungsäquivalentdosisleistung \dot{H} in 1 m Entfernung in $\mu\text{Sv/h}$ (Brutto)	effektive Dosis einer Schülerin in 1 m Abstand nach 90 Minuten in μSv
Bruchstücke einer italienischen Fliese	U-238	0,13	0,0013	0,0020
Italienische Fliesen	U-238	0,09	0,0009	0,0014
Uranglasschale	U-238	0,20	0,002	0,003
Uranglasperlen in kleiner Dose	U-238	0,13	0,0013	0,0020
Uranglasbecher	U-238	0,15	0,0015	0,0023

Genehmigungsfrei nach § 5 Absatz 1 ist [...] 8. der Umgang mit natürlichen radioaktiven Stoffen zum Zwecke der Nutzung der Radioaktivität zu Lehr- und Ausbildungszwecken, wenn die Ortsdosisleistung des jeweiligen Stoffs 1 Mikrosievert durch Stunde in 0,1 Meter Abstand von der berührbaren Oberfläche nicht überschreitet und eine innere Exposition sicher verhindert werden kann. Durch diese Regelung soll eine praxistaugliche Möglichkeit geschaffen werden, dass im Unterricht die natürliche Radioaktivität von Mineralien und Erzen demonstriert und in Versuchen genutzt werden kann.

Dies gilt auch für Verbrauchsgegenstände, die natürliche radioaktive Stoffe enthalten, wie z. B. Backpulver, Thorium-Glühstrümpfe oder Kalisalz. Stehen die natürlichen radioaktiven Stoffe mit den eben genannten Grundsätzen im Einklang, sind diese für die Nutzung an Schulen genehmigungs- und anzeigefrei.

A.3 Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Schulen – allgemeine Maßnahmen



Gefährdungsbeurteilung für den Umgang mit radioaktiven Stoffen in Schulen - allgemeine Maßnahmen

Grundsätzlich sind zu beachten:

- die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV),
- der Erlass „Strahlenschutz an Schulen“ in Verbindung mit der
- Richtlinie Sicherheit im Unterricht (RiSU), Anhang Strahlenschutz sowie
- die schulinterne Strahlenschutzanweisung

Ziel des Strahlenschutzes ist es, Mensch und Umwelt vor den schädigenden Wirkungen ionisierender Strahlung zu schützen. Dies drückt sich insbesondere in den Strahlenschutzgrundsätzen aus (§§ 4-6 StrlSchV):

- 1. Rechtfertigung (§4 StrlSchV): „Neue Arten von Tätigkeiten, ..., mit denen Strahlenexpositionen oder Kontaminationen von Mensch und Umwelt verbunden sein können, müssen unter Abwägungen ihres wirtschaftlichen, sozialen oder sonstigen Nutzens gegenüber der möglicherweise von ihnen ausgehenden gesundheitlichen Beeinträchtigung gerechtfertigt sein.“**

Die Verwendung von radioaktiven Stoffen an Schulen zu Unterrichtszwecken ist gerechtfertigt. Somit ist diese Voraussetzung erfüllt.

- 2. Dosisbegrenzung (§5 StrlSchV): „Wer eine Tätigkeit ... ausübt oder ausüben lässt, ist verpflichtet dafür zu sorgen, dass die Dosisgrenzwerte ... nicht überschritten werden.“**

Der für die Verwendung von radioaktiven Stoffen an Schulen relevante Grenzwert beträgt 1 mSv effektive Dosis pro Kalenderjahr sowohl für Lehrer als auch für Schüler, da Lehrer durch den Umgang mit radioaktiven Stoffen nicht als beruflich strahlenexponierte Personen einzustufen sind.

- 3. Vermeidung unnötiger Strahlenexposition und Dosisreduzierung (§6 StrlSchV): „Wer eine Tätigkeit plant oder ausübt ist verpflichtet, jede unnötige Strahlenexposition oder Kontamination von Mensch und Umwelt zu vermeiden sowie jede Strahlenexposition von Mensch und Umwelt unter Beachtung des Standes von Wissenschaft und Technik und unter Berücksichtigung aller Umstände des Einzelfalles auch unterhalb der in der Strahlenschutzverordnung festgesetzten Grenzwerte so gering wie möglich zu halten.“**

Dieser Strahlenschutzgrundsatz muss das Handeln der Lehrer leiten und damit umgesetzt werden. Die Umsetzung erfolgt im wesentlichen durch die Anwendung der Grundregeln im praktischen Strahlenschutz:

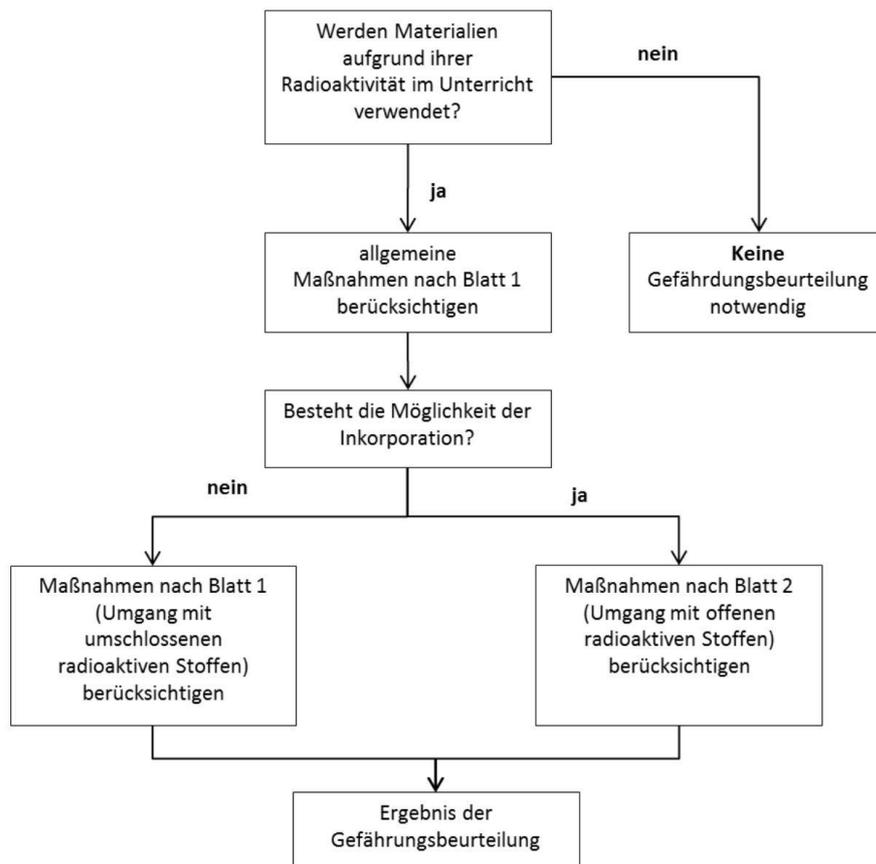
- Der **Abstand** zu den Präparaten ist so groß wie möglich zu halten.
- Die **Aufenthaltszeit** ist so gering wie möglich zu halten.
- **Abschirmung** ist so viel wie notwendig zu verwenden.

Durch die Umsetzung dieser Grundregeln können Experimente mit Stoffen aufgrund ihrer Radioaktivität an Schulen so durchgeführt werden, dass die Strahlenexposition von Lehrern und Schülern um Größenordnungen unterhalb des Grenzwertes von 1 mSv effektiver Dosis pro Kalenderjahr liegt und klein ist im Vergleich zur natürlichen Strahlenexposition von ca. 2 mSv pro Kalenderjahr (effektive Dosis).

Alle in Niedersachsen aus dem Erlass „Strahlenschutz an Schulen“ im Zusammenhang mit der RiSU resultierenden Aufgaben und Pflichten können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Diese kann als „Kompendium der RiSU in Stichworten“ auch auf der Homepage des Instituts für Radioökologie und Strahlenschutz der Leibniz Universität Hannover heruntergeladen werden

(http://www.strahlenschutzkurse.de/fileadmin/strahlenschutzkurse/dokumente/lehrer/Kompendium_RiSU.pdf).

Weitere Details zur Gefährdungsbeurteilung können dem Blatt 1 (Maßnahmen beim Umgang mit umschlossenen radioaktiven Stoffen) oder dem Blatt 2 (Maßnahmen bei Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen) entnommen werden (siehe Fließdiagramm).



A.4 Tafelbilder Messeinheit

Schule A

CP 200
count
ner second 50

Camping-Glühstrumpf		Camping-Glühstrumpf	
Moos, Markt Prypiat		Armbanduhren	
Lenkteich-Sediment		Italienische Fliese	
Ufersand Christinovka	30	Pechblende (Uran-Erz)	
Pechblende (Uran-Erz)	20	Wandputz, Jachymov	
Wandputz, Jachymov	10	Erdölablagerungen	
Graspellets, Bayern 1986	5	Uranglas	
Grubenwassersediment		Thorium - Schweißnadel	
Uranglasperlen		Lenkteich-Sediment	
Inkrustation, Steinkohle	3	Granit, Oberpfalz	
Strand Bikini-Atoll		Pottasche	
Armbanduhr	2	Inkrustation, Steinkohle	
Braunkohle		Braunkohle	
Schiefer Randstad		Schiefer Randstad	
Granit, Oberpfalz		Graspellets, Bayern 1986	
Thorium - Schweißnadel		Mensch	
Erdölablagerungen	1	Ufersand Christinovka	
Pottasche		Strand Bikini-Atoll	
Uranglasperlen	0	Moos, Markt Prypiat	
Italienische Fliese		Uranglasperlen	

= 6300

CP 5

Strand Bikini-Atoll		Pechblende (Uran-Erz)	15
Uranglas		Thorium - Schweißnadel	100
Granit, Oberpfalz		Italienische Fliese	50
Pechblende (Uran-Erz)		Camping-Glühstrumpf	30
Armbanduhr		Erdölablagerungen	20
Camping-Glühstrumpf		1 g Erde (Hundsbühl)	10
Burgsandstein, Zeckern		Burgsandstein, Zeckern	5
Bravo-Krater Sediment		Mineraldünger	
Braunkohle		Grubenwassersediment	
Kaliumchlorid (0,95 g)		Braunkohle	
Thorium - Schweißnadel		Kaliumchlorid (0,95 g)	
Mineraldünger		Inkrustation, Steinkohle	
Paranüsse		Ufersand Christinovka	
Ufersand Christinovka		Uranglas	2
Schaltknöpfe		Schiefer Randstad	
Schiefer Randstad		Bravo-Krater Sediment	
Inkrustation, Steinkohle		Graspellets, Bayern 1986	1
Italienische Fliese		Paranüsse	
Lenkteich-Sediment		Strand Bikini-Atoll	
Graspellets, Bayern 1986		Mensch	
1 g Erde (Hundsbühl)			
Erdölablagerungen			
Mensch			

Schule B

Strand Bikini-Atoll	Fliesen mit Blumenmuster 945
Graspellets, Bayern 1986 <i>Schwermmetalle - Konzentration</i>	Pechblende (Uran-Erz) 325
Uranglasperlen	Monazitsand, Kerala IND 965
Ufersand Christinovka	Camping-Glühstrumpf 100
Granit, Oberpfalz 2	Armbanduhr
Lenkteich-Sediment	Schaltknöpfe 50
Erdölablagerungen	Uranglas 20
Pechblende (Uran-Erz)	Erdölablagerungen
Armbanduhr	Italienische Fliese
Kaliumchlorid (0,95 g)	Thorium - Schweißnadel 10
Schaltknöpfe	Granit, Oberpfalz
Monazitsand, Kerala IND	Lenkteich-Sediment 5
Italienische Fliese	Kaliumchlorid (0,95 g)
Schiefer Randstad	Schiefer Randstad 2
Uranglas	Mineraldünger
Thorium - Schweißnadel	Graspellets, Bayern 1986
Fliesen mit Blumenmuster	Ufersand Christinovka
Mineraldünger	<i>Schwermmetalle Konzentration</i>
Camping-Glühstrumpf	Uranglasperlen 7
Braunkohle	Paranüsse
Bravo-Krater Sediment	Bravo-Krater Sediment
Paranüsse	Strand Bikini-Atoll 0

Strand Bikini-Atoll	Fliesen mit Blumenmuster 620
Pechblende (Uran-Erz)	Pechblende (Uran-Erz) 200
Bravo-Krater Sediment	Monazitsand, Kerala IND 700
Erdölablagerungen	Schaltknöpfe 100
Inkrustation, Steinkohle	Camping-Glühstrumpf
Lenkteich-Sediment	Italienische Fliese
Braunkohle	Armbanduhr 50
Ufersand Christinovka	Uranglas 20
Graspellets, Bayern 1986	Erdölablagerungen 10
Granit, Oberpfalz	Thorium - Schweißnadel
Schaltknöpfe	Granit, Oberpfalz
Camping-Glühstrumpf	Lenkteich-Sediment 5
Thorium - Schweißnadel	Braunkohle
Armbanduhr	Inkrustation, Steinkohle
Uranglas	Uranglasperlen 2
Mensch	Graspellets, Bayern 1986
Paranüsse	Ufersand Christinovka
Fliesen mit Blumenmuster	Paranüsse
Italienische Fliese	Bravo-Krater Sediment 1
Uranglasperlen	Strand Bikini-Atoll 0
Monazitsand, Kerala IND	Mensch

counts per sec

Pechblende (Uran-Erz)	Fliesen mit Blumenmuster	1000
Armbanduhr	Monazitsand, Kerala IND	500
Bravo-Krater Sediment	Pechblende (Uran-Erz)	200
Strand Bikini-Atoll	Camping-Glühstrumpf	100
Graspellets, Bayern 1986	Schaltknöpfe	6
Ufersand Christinovka	Italienische Fliese	
Lenkteich-Sediment	Armbanduhr	50
Uranglas	Uranglas	
Monazitsand, Kerala IND	Erdölablagerungen	
Italienische Fliese	Thorium - Schweißnadel	10
Granit, Oberpfalz	Braunkohle	5
Erdölablagerungen	Lenkteich-Sediment	
Fliesen mit Blumenmuster	Granit, Oberpfalz	
Thorium - Schweißnadel	Grubenwassersediment	
Grubenwassersediment	Ufersand Christinovka	2
Braunkohle	Graspellets, Bayern 1986	1
Schaltknöpfe	Uranglasperlen	
Camping-Glühstrumpf	Paranüsse	
Mensch	Strand Bikini-Atoll	0
Uranglasperlen	Bravo-Krater Sediment	0,5
Paranüsse	Mensch	

Bravo-Krater Sediment	Fliesen mit Blumenmuster	500
Strand Bikini-Atoll	Pechblende (Uran-Erz)	200
Graspellets, Bayern 1986	Camping-Glühstrumpf	100
Granit, Oberpfalz	Monazitsand, Kerala IND	50
Armbanduhr	Schaltknöpfe	50
Uranglas	Armbanduhr	20
Ufersand Christinovka	Uranglas	10
Thorium - Schweißnadel	Italienische Fliese	
Camping-Glühstrumpf	Erdölablagerungen	20
Schaltknöpfe	Thorium - Schweißnadel	10
Monazitsand, Kerala IND	Pottasche	5
Inkrustation, Steinkohle	Lenkteich-Sediment	
Pechblende (Uran-Erz)	Granit, Oberpfalz	
Uranglasperlen	Inkrustation, Steinkohle	
Lenkteich-Sediment	Braunkohle	
Braunkohle	Schiefer Randstad	2
Schiefer Randstad	Ufersand Christinovka	
Italienische Fliese	Graspellets, Bayern 1986	1
Erdölablagerungen	Uranglasperlen	
Fliesen mit Blumenmuster	Strand Bikini-Atoll	
Paranüsse	Bravo-Krater Sediment	
Pottasche	Paranüsse	0
Mensch	Mensch	

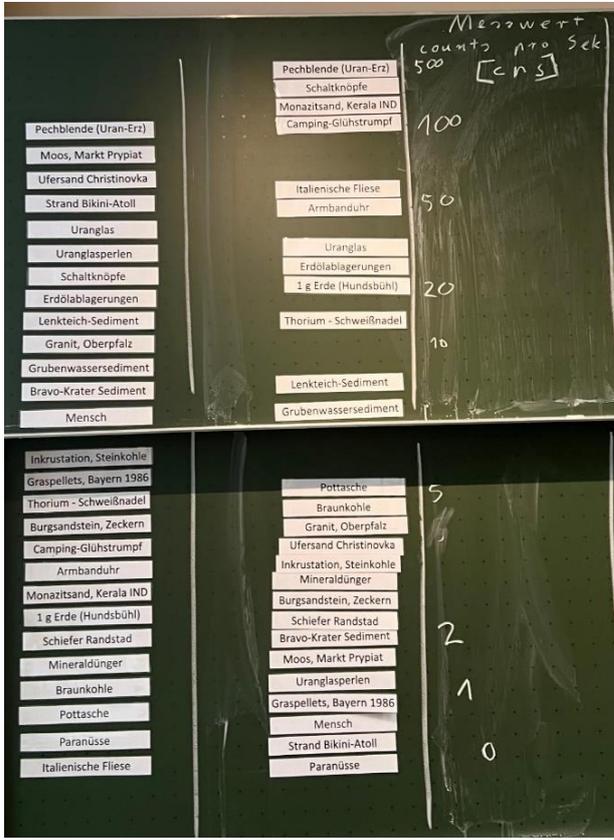
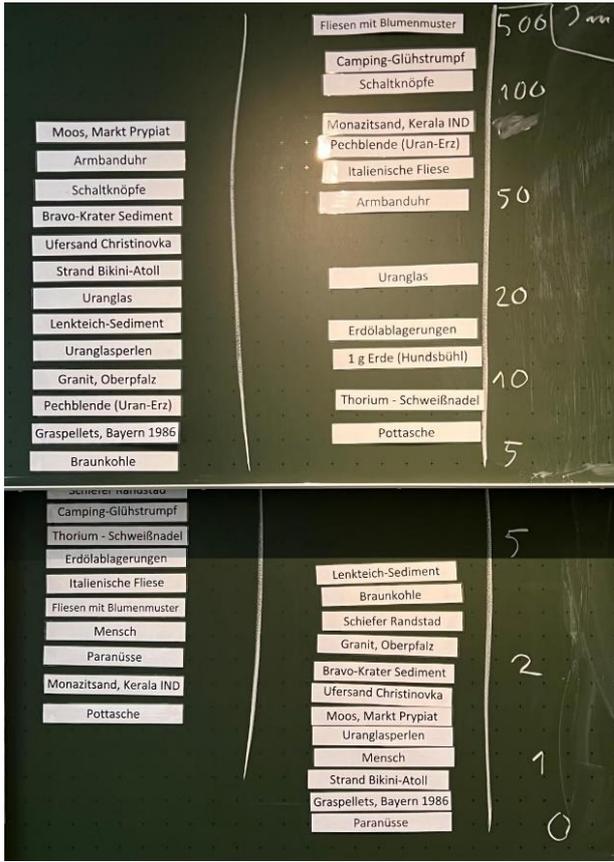
Schule C

Moos, Markt Prypiat	Fliesen mit Blumenmuster	counts 640 (E15) 100	
Ufersand Christinovka	Camping-Glühstrumpf		
Pechblende (Uran-Erz)	Schaltknöpfe		
Bravo-Krater Sediment	Pechblende (Uran-Erz)		
Graspellets, Bayern 1986	Italienische Fliese		
Lenkteich-Sediment	Armbanduhr		50
Strand Bikini-Atoll	Uranglas		
Uranglasperlen	Erdölablagerungen		20
Erdölablagerungen	Thorium - Schweißnadel		10
Camping-Glühstrumpf	1 g Erde (Hundsühhl)		
Paranüsse			
Granit, Oberpfalz			
Thorium - Schweißnadel			

Mensch	Pottasche	1 2 1 0
Uranglas	Lenkteich-Sediment	
Schaltknöpfe	Granit, Oberpfalz	
Armbanduhr	Ufersand Christinovka	
Pottasche	Schiefer Randstad	
1 g Erde (Hundsühhl)	Bravo-Krater Sediment	
Schiefer Randstad	Moos, Markt Prypiat	
Fliesen mit Blumenmuster	Strand Bikini-Atoll	
Italienische Fliese	Graspellets, Bayern 1986	
	Mensch	
	Paranüsse	
	Uranglasperlen	

Armbanduhr	Fliesen mit Blumenmuster	500 200 100 50 20 10 5	
Ufersand Christinovka	Pechblende (Uran-Erz)		
Pechblende (Uran-Erz)	Monazitsand, Kerala IND		
Monazitsand, Kerala IND	Camping-Glühstrumpf		
Strand Bikini-Atoll	Schaltknöpfe		
Mensch	Italienische Fliese		
Bravo-Krater Sediment	Armbanduhr		50
Erdölablagerungen	Uranglas		
Graspellets, Bayern 1986	Erdölablagerungen		20
	Thorium - Schweißnadel		10
	Pottasche	5	

Camping-Glühstrumpf	Granit, Oberpfalz	3 2 1 0
Granit, Oberpfalz	Schiefer Randstad	
Thorium - Schweißnadel	Ufersand Christinovka	
Uranglas	Bravo-Krater Sediment	
Schiefer Randstad	Moos, Markt Prypiat	
Uranglasperlen	Uranglasperlen	
Fliesen mit Blumenmuster	Strand Bikini-Atoll	
Italienische Fliese	Paranüsse	
Moos, Markt Prypiat	Graspellets, Bayern 1986	
Schaltknöpfe	Mensch	
Pottasche		
Paranüsse		



Messwert
count pro Sek
500 [c/s]

Pechblende (Uran-Erz)	Pechblende (Uran-Erz)	100
Moos, Markt Prypiat	Schaltknöpfe	
Ufersand Christinovka	Monazitsand, Kerala IND	
Strand Bikini-Atoll	Camping-Glühstrumpf	
Uranglas	Italienische Fliese	50
Uranglasperlen	Armbanduhr	
Schaltknöpfe	Uranglas	
Erdölablagerungen	Erdölablagerungen	20
Lenkteich-Sediment	1 g Erde (Hundsüh)	
Granit, Oberpfalz	Thorium - Schweißnadel	10
Grubenwassersediment		
Bravo-Krater Sediment	Lenkteich-Sediment	
Mensch	Grubenwassersediment	

Inkrustation, Steinkohle	Pottasche	5
Graspellets, Bayern 1986	Braunkohle	
Thorium - Schweißnadel	Granit, Oberpfalz	
Burgsandstein, Zeckern	Ufersand Christinovka	
Camping-Glühstrumpf	Inkrustation, Steinkohle	
Armbanduhr	Mineraldünger	
Monazitsand, Kerala IND	Burgsandstein, Zeckern	
1 g Erde (Hundsüh)	Schiefer Randstad	2
Schiefer Randstad	Bravo-Krater Sediment	
Mineraldünger	Moos, Markt Prypiat	
Braunkohle	Uranglasperlen	1
Pottasche	Graspellets, Bayern 1986	
Paranüsse	Mensch	
Italienische Fliese	Strand Bikini-Atoll	0
	Paranüsse	

Messwert
[c/s] = 60

Mensch	Fliesen mit Blumenmuster	500
Pechblende (Uran-Erz)	Pechblende (Uran-Erz)	
Ufersand Christinovka	Schaltknöpfe	
Bravo-Krater Sediment	Monazitsand, Kerala IND	200
Moos, Markt Prypiat	Camping-Glühstrumpf	100
Lenkteich-Sediment	Italienische Fliese	
Strand Bikini-Atoll	Armbanduhr	50
Schaltknöpfe	Erdölablagerungen	
Uranglas	Uranglas	
Uranglasperlen	1 g Erde (Hundsüh)	20
Inkrustation, Steinkohle	Thorium - Schweißnadel	10
Camping-Glühstrumpf	Braunkohle	
Thorium - Schweißnadel		
Granit, Oberpfalz		
Graspellets, Bayern 1986		

Monazitsand, Kerala IND	Burgsandstein, Zeckern	
Erdölablagerungen	Pottasche	
Grubenwassersediment	Inkrustation, Steinkohle	5
Burgsandstein, Zeckern	Grubenwassersediment	
1 g Erde (Hundsüh)	Granit, Oberpfalz	
Braunkohle	Schiefer Randstad	
Schiefer Randstad	Lenkteich-Sediment	
Italienische Fliese		
Fliesen mit Blumenmuster	Uranglasperlen	
Paranüsse	Ufersand Christinovka	2
Pottasche	Moos, Markt Prypiat	
Armbanduhr	Strand Bikini-Atoll	
	Graspellets, Bayern 1986	
	Paranüsse	
	Mensch	1
	Bravo-Krater Sediment	0

V1 E 2.2 W 3
[CAS] = 6

Mensch	Fliesen mit Blumenmuster	500
Pechblende (Uran-Erz)	Pechblende (Uran-Erz)	
Ufersand Christinovka	Schaltknöpfe	
Bravo-Krater Sediment	Monazitsand, Kerala IND	200
Moos, Markt Prypiat	Camping-Glühstrumpf	100
Lenkeich-Sediment	Italienische Fliese	
Strand Bikini-Atoll	Armbanduhr	50
Schaltknöpfe	Erdölablagerungen	
Uranglas	Uranglas	
Uranglasperlen	1 g Erde (Hundsühnl)	20
Inkrustation, Steinkohle	Thorium - Schweißnadel	10
Camping-Glühstrumpf	Braunkohle	
Thorium - Schweißnadel		
Granit, Oberpfalz		
Graspellets, Bayern 1986		

Monazitsand, Kerala IND	Burgsandstein, Zeckern	
Erdölablagerungen	Pottasche	
Grubenwassersediment	Inkrustation, Steinkohle	5
Burgsandstein, Zeckern	Grubenwassersediment	
1 g Erde (Hundsühnl)	Granit, Oberpfalz	
Braunkohle	Schiefer Randstad	
Schiefer Randstad	Lenkeich-Sediment	
Italienische Fliese		
Fliesen mit Blumenmuster	Uranglasperlen	
Paranüsse	Ufersand Christinovka	2
Pottasche	Moos, Markt Prypiat	
Armbanduhr	Strand Bikini-Atoll	
	Graspellets, Bayern 1986	
	Paranüsse	
	Mensch	1
	Bravo-Krater Sediment	0

A.5 Übersicht der Beantwortung der Fragen im Fragebogen

Item: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung?

Tabelle A.11: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Alphastrahlung.

	Vortest		Nachttest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	203	92,7 %	212	96,8 %
falsch	16	7,3 %	7	3,2 %

Tabelle A.12: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Sichtbares Licht.

	Vortest		Nachttest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	206	94,1 %	210	95,9 %
falsch	13	5,9 %	9	4,1 %

Tabelle A.13: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Betastrahlung.

	Vortest		Nachttest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	177	80,8 %	202	92,2 %
falsch	42	19,2 %	17	7,8 %

Tabelle A.14: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Gammastrahlung.

	Vortest		Nachttest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	165	75,3 %	197	90,0 %
falsch	54	24,7 %	22	10,0 %

Tabelle A.15: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Funkstrahlung.

	Vortest		Nachtest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	206	94,1 %	213	97,3 %
falsch	13	5,9 %	6	2,7 %

Tabelle A.16: Wobei handelt es sich um ionisierende Kernstrahlung? - Antwortmöglichkeit: Radiostrahlung.

	Vortest		Nachtest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	182	83,1 %	201	91,8 %
falsch	37	16,9 %	18	8,2 %

Item: Radioaktivität erkenne ich an...

Tabelle A.17: Radioaktivität erkenne ich an... - Antwortmöglichkeit: Einem charakteristischen gelb- und/oder grünen Leuchten.

	Vortest		Nachtest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	171	77,0 %	183	82,4 %
falsch	51	23,0 %	39	17,6 %

Tabelle A.18: Radioaktivität erkenne ich an... - Antwortmöglichkeit: Einer hohen chemischen Reaktivität.

	Vortest		Nachtest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	171	77,0 %	189	85,1 %
falsch	51	23,0 %	33	14,9 %

Tabelle A.19: Radioaktivität erkenne ich an... - Antwortmöglichkeit: Es gibt keine äußerlichen Merkmale.

	Vortest		Nachtest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	145	65,3 %	172	77,5 %
falsch	77	34,7 %	50	22,5 %

Item: Unter der Reaktivität eines radioaktiven Präparates versteht man...

Tabelle A.20: Unter der Reaktivität eines radioaktiven Präparates versteht man... - Antwortmöglichkeit: Anzahl von Kernzerfällen pro Zeiteinheit.

	Vortest		Nachttest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	137	62,0 %	135	61,1 %
falsch	84	38,0 %	86	38,9 %

Tabelle A.21: Unter der Reaktivität eines radioaktiven Präparates versteht man... - Antwortmöglichkeit: Dichte eines radioaktiven Präparates.

	Vortest		Nachttest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	204	92,3 %	216	97,7 %
falsch	17	7,7 %	5	2,3 %

Tabelle A.22: Unter der Reaktivität eines radioaktiven Präparates versteht man... - Antwortmöglichkeit: Halbwertszeit eines radioaktiven Präparates.

	Vortest		Nachttest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	167	75,6 %	187	84,6 %
falsch	54	24,4 %	34	15,4 %

Tabelle A.23: Unter der Reaktivität eines radioaktiven Präparates versteht man... - Antwortmöglichkeit: Anzahl der gemessenen Counts pro Sekunde im Detektor.

	Vortest		Nachttest	
	Häufigkeit	Prozent	Häufigkeit	Prozent
richtig	164	74,2 %	118	53,4 %
falsch	57	25,8 %	103	46,6 %

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich eidesstattlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig angefertigt habe und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt wurden. Alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, sind kenntlich gemacht worden. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Hemmingen, 21.08.2024, N. Schmidt-Müller

Ort, Datum, Unterschrift