

## Risiken der Radioaktivität aus Sicht von Jugendlichen

Claus Bolte\*, Nicole Schrader\*

\*Freie Universität Berlin, Didaktik der Chemie, Haderslebener Str. 9, D-12163 Berlin  
[claus.bolte@fu-berlin.de](mailto:claus.bolte@fu-berlin.de) – [n.schrader@fu-berlin.de](mailto:n.schrader@fu-berlin.de)

### Kurzfassung

Nicht zuletzt wegen ihres vielfältig faszinierenden Charakters ziehen wissenschaftliche Erkenntnisse zur Theorie der Radioaktivität und ihre vielfältigen, oft nicht unumstrittenen, Anwendungen die Aufmerksamkeit der Wissenschaftsgemeinde wie auch die einer breiten Öffentlichkeit auf sich. Doch so populär die Diskussionen und Berichterstattungen rund um die Themen Radioaktivität und Anwendungen von Kernenergie auch sein mögen, so facettenreich und durchaus subjektiv geprägt scheinen die öffentlichen Debatten und Streitgespräche. Angesichts der vielfältig und oftmals emotional oder gar stigmatisierend geführten Diskussionen fällt es schwer, sich ein – wohl reflektiertes und möglichst vorurteilsfreies – eigenes Urteil zu bilden; nicht zuletzt, da ja auch ein fach- und sachgerechtes Verständnis von den naturwissenschaftlich-technischen Grundlagen nicht einfach zu erzielen ist. Ebenso schwer sind die zu erwartenden Folgen und Risiken zu überschauen, die mit den zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten verbunden sind oder sein können. Als Chemie-Lehrer\*in und Fachdidaktiker\*in stellt sich daher die Frage: Wie ist es eigentlich um die fachbezogenen Kompetenzen von Schüler\*innen im Themenfeld von Radioaktivität und (ionisierender) Strahlung bestellt und für wie risikobehaftet schätzen Jugendliche die technologischen Anwendung von Radioaktivität und (ionisierender) Strahlung ein? Außerdem interessiert uns die Frage: In welcher Weise beeinflusst wissenschaftlich stimmiges Wissen die subjektiv geprägte Risikowahrnehmung von Jugendlichen?

### 1. Einleitung

Die Umsetzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in neue Technologien und die Produkte, die aus den technologischen Anwendungen hervorgehen, bringt – und das dürfte unbestritten sein – Fortschritt auf vielen Gebieten und gesellschaftlichen Wohlstand hervor. Strittiger sind hingegen die Diskussionen um die nicht intendierten und potenziellen Risiken, die technische Innovationen stets auch in sich bergen. Diese zwei Seiten wissenschaftlichen Fortschritts und technologischer Innovationen müssen – so lautet die Forderung der Kultusministerkonferenz in den nationalen Bildungsstandards – von der Gesellschaft und dem Einzelnen „erkannt, bewertet und beherrscht werden...“ (KMK 2005a-c, 6). Der Umgang mit Risiken innovativer Technologien, wie dem Einsatz radioaktiver Stoffe in Medizin und Technik, und deren Bewertungen stehen daher, vielleicht nicht von Anfang an, so doch stetig zunehmend, im Mittelpunkt gesellschaftlicher Diskussionen. Dies scheint auf öffentlich geführte Diskussionen sowohl in den Bereichen medizin- und energie-technischer Anwendungen radioaktiver Materialien als auch mit Blick auf die militärische Nutzung nuklearer Technologien im besonderen Maße zuzutreffen.

In solchen gesellschaftlich ausgetragenen Kontroversen wird deutlich, dass Wahrnehmung und Einschät-

zung von Risiken im öffentlichen Meinungsbild nicht immer mit naturwissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen oder mit technologisch fundierten Risikoabschätzungen in Übereinstimmung zu bringen sind (Krohn & Krücken 1993; Wiedemann 1996).

Mit Blick auf Schule und Unterricht provoziert die hier nur skizzierte Ausgangslage die folgenden grundlegenden Fragen:

1. Über welche naturwissenschaftlich (un-)stimmigen *Schüler-Vorstellungen* bzw. über welche *altersgemäß zu erwartenden fachlichen Kompetenzen* (vgl. KMK 2005) verfügen Schüler\*innen zum Ende ihrer obligatorischen Schulzeit im Bereich Radioaktivität, radioaktive Materialien und ionisierende Strahlung?
2. Wie nehmen Schüler\*innen bestimmte *Risikoquellen* im Kontext von Radioaktivität und ionisierender Strahlung wahr, und wie beurteilen sie die in diesen Szenarien ausgewählten *Risikomerkmale*?
3. In welchem Maße und in welcher Weise beeinflussen die Vorstellungen von Schüler\*innen die Wahrnehmung und Beurteilung der mit verschiedenen Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung verbundenen Szenarien (Risikoquellen)?

## 2. Theorie

### 2.1. Theoriebasierte Anleihen aus der Schüler-Vorstellungsforschung

Seit mehr als 50 Jahren ist die Schüler-Vorstellungsforschung aus dem naturwissenschaftsdidaktischen Forschungskontext kaum mehr wegzudenken (siehe Bibliografie von Pfundt und Duit, 2009); zahlreiche naturwissenschaftliche Inhaltsfelder wurden seither wiederholt und nahezu erschöpfend erforscht. Angesichts der eingangs skizzierten Relevanz des Themenfelds „Radioaktivität und (ionisierende) Strahlung“ überrascht es daher umso mehr, dass Studien im Bereich der Schüler-Vorstellungsforschung – insbesondere im deutschsprachigen Raum – in diesem Inhaltsfeld eher selten zu finden sind; Ausnahmen bilden die Arbeit von Riesch und Westphal (1975) aus den 1970er Jahren oder die Dissertation von Neumann (2013). Weitere richtungsweisende Arbeiten in diesem Bereich stammen überwiegend aus Großbritannien (Eijkelhof & Millar, 1988; Millar, 1994; Millar & Gill 1996; Boyes & Stanisstreet, 1994) oder den Niederlanden (Lijnse et al., 1990; Eijkelhof, 1990; 1996). Die Befunde dieser Studien sprechen dafür, dass Schüler\*innen undifferenzierte und weitgehend naive Vorstellungen bezüglich des Konzepts radioaktiver Materie und Strahlung besitzen und zentrale Begriffselemente (Aebli 2001, S. 256; Dietz & Bolte in diesem Jahresband) häufig unsachgemäß kombinieren und verknüpfen (siehe hierzu auch Schrader & Bolte 2018; 2020).

Die Schüler-Vorstellungsforschung zum Phänomen Radioaktivität und den damit verbundenen Prozessen (Eijkelhof 1990; Millar 1994; Millar & Gill 1996; Schrader & Bolte 2018) zeigt, dass Schüler\*innen zentrale Fachtermini und Begriffselemente, wie *Strahlung*, *radioaktives Material* und *Radioaktivität* oder auch *Bestrahlung* und *Kontamination* in vielen Fällen nicht fach- und sachgerecht verwenden. Außerdem belegen die Analysen der meist per Interview durchgeführten Befragungen, dass viele Schüler\*innen Radioaktivität per se als schädlich für Lebewesen ansehen, was eine quasi ubiquitäre Angst vor nahezu jeder Art von Strahlung erklärt und dazu führt, dass jegliche Strahlenexposition (z.B. selbst Sonnen- oder Röntgenstrahlung; siehe weiter unten) von Jugendlichen als großes gesundheitliches Risiko wahrgenommen wird.

### 2.2. Theoriebasierte Anleihen aus der Risikowahrnehmungsforschung

Spätestens seit den 1970er Jahren werden in der psychologischen Risikoforschung verstärkt die Determinanten subjektiver Risikobeurteilung – auch empirisch systematisch – untersucht. Besonders hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die Arbeiten, die dem sog. „psychometrische Ansatz“ folgen (Slovic 1987; Fischhoff et al. 1978); einem Forschungsparadigma, das bereits in zahlreichen Studien und in

vielfältigen Forschungskontexten zur Anwendung gekommen ist.

Zu den charakteristischen Kennzeichen von Studien, die dem psychometrischen Paradigma folgen, zählt, dass den Studienteilnehmer\*innen in der Regel eine mehr oder minder große Zahl an potenziell risikobehafteten Situationen, Aktivitäten, Substanzen o.ä. (sog. *Risikoquellen*) vorgelegt wird, die von den Proband\*innen mit Hilfe eines Sortiments ausgewählter Skalen, die auf verschiedene *Risikomerkmale* fokussieren, abwägend einzuschätzen sind. Die derart erhobenen Individualdaten werden in den meisten Studien für jede Risikoquelle und jedes Risikomerkmale über alle Probanden aggregiert. Anschließend werden die aggregierten Daten mittels multivariater Analyseverfahren (z. B. durch Faktorenanalysen) systematisch gebündelt und inhaltlich verdichtet (vgl. u.a. Slovic 1987; 1992; Slovic & Jungermann 1993; Siegrist, Keller & Kiers 2005; Slovic, Fischhoff & Lichtenstein 1980; 1985; 1986). In vielen dieser Studien ließen sich aus den umfassenden Datensätzen zwei Komponenten (Faktoren) identifizieren, die in diesen Studien als „unbekannt (unknown)“ und als „schrecklich (dread)“ betitelt wurden.

Das Gros der hier genannten Studien beruht auf der Befragung junger Erwachsener (i.d.R. Studierende der Psychologie); die subjektiv geprägten Wahrnehmungsmuster und die Beurteilung von (potenziellen) Risikoquellen durch Jugendliche (z.B. Schüler\*innen unterschiedlicher Schulformen und/oder von Jugendlichen gegen Ende ihrer obligatorischen Schulzeit) wurde u. W. bislang nur sehr selten untersucht.

Daher haben wir uns entschieden, in unserer Studie nicht nur Schüler-Vorstellungen zum Thema Radioaktivität zu untersuchen, sondern auch in Erfahrung zu bringen, wie Schüler\*innen gegen Ende der Jahrgangsstufe 10 von Gymnasien und Integrierten Gesamtschulen in Berlin die Risiken, die sie mit verschiedenen Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung verbinden, wahrnehmen und inwieweit ausgewählte Elemente des „psychometrischen Ansatzes“ (genauer gesagt: wie die Beurteilung der sog. Risikomerkmale) die Risikowahrnehmungsprofile von Jugendlichen determinieren.

### 2.3. Zusammenhang von Schüler-Vorstellungen und Risikowahrnehmung

Unserer Argumentation folgend mangelt es sowohl an Forschungsarbeiten, die auf die Identifizierung typischer Schüler-Vorstellungen im Bereich Radioaktivität und ionisierende Strahlung abzielen, als auch an solchen Studien, die der Frage nachgehen, wie Schüler\*innen potenzielle Risikoquellen wahrnehmen und beurteilen, die mit der Anwendung der Radioaktivität einhergehen, oder die mit dem „Konsum“ von Stoffen verbunden sind, die mit radioaktiven Stoffen versetzt sind. Da es an Erkenntnissen im einen wie im anderen Bereich mangelt, ist es nicht verwunderlich, dass

auch die Frage: Wie beeinflussen Schüler-Vorstellungen zum Thema Radioaktivität und Strahlung die Risikowahrnehmung von Jugendlichen auf diesem Gebiet? u.W. bislang unerforscht ist. Diese Forschungslücke versuchen wir durch unsere Studie ein Stück weit zu verkleinern. Daher fokussieren wir in unserer Untersuchung auf die auch statistisch zu identifizierenden Zusammenhänge zwischen Schüler-Vorstellungen im Bereich Radioaktivität und ionisierende Strahlung einerseits und die Einschätzungen von Risikoquellen anhand ausgewählter Risikomerkmale durch Schüler\*innen gegen Ende ihrer obligatorischen Schulzeit andererseits.

### 3. Fragestellung

Fasst man die bislang skizzierten Forschungsintentionen zusammen, so kommt man zu drei zentralen Forschungsfragen, die wir im Folgenden systematisch beleuchten werden:

1. Inwiefern gelingt es Schüler\*innen die Begriffselemente *radioaktives Material, Strahlung und Radioaktivität* fachlich zutreffend zu verwenden sowie dabei zwischen *Kontamination und Bestrahlung* sachgemäß zu unterscheiden?
2. Wie schätzen Schüler\*innen die mit verschiedenen Anwendungen aus dem Bereich Radioaktivität verbundenen Risiken ein?
3. Inwieweit beeinflussen Schüler-Vorstellungen über Radioaktivität und ionisierende Strahlung die Wahrnehmung und Beurteilung der mit verschiedenen Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung verbundenen Risiken?

### 4. Methode

Zur Beantwortung dieser Forschungsfragen verwenden wir ein *eigens entwickeltes Befragungsinstrument* bestehend aus (zwei mal vier) verschiedenen kleinformatigen Testheft-Versionen (Schrader & Bolte 2019a). Der Forschungsfrage folgend enthalten die Testhefte jeweils *Aufgaben zur systematischen Analyse des konzeptuellen Begriffsverständnisses* und darüber hinaus *Aufgaben zur Ermittlung der Risikowahrnehmung im Bereich Radioaktivität und (ionisierende) Strahlung* (Schrader & Bolte 2018; 2019a; 2020). Darüber hinaus bitten wir die Proband\*innen um einige personenbezogene Daten, wie Geschlecht und Alter. Außerdem bitten wir die Teilnehmer\*innen auf einer 10-stufigen Ratingskala einzuschätzen, wie ausführlich ihres Erachtens das Thema Radioaktivität im naturwissenschaftlichen Unterricht bisher behandelt wurde (Schrader & Bolte, 2019a).

#### 4.1. Aufgaben zur systematischen Analyse des konzeptuellen Begriffsverständnisses

Insgesamt haben wir acht in ihrer Struktur einander gleichende Aufgaben zur Analyse des konzeptuellen

Begriffsverständnisses entwickelt, die jeweils auf verschiedene Anwendungen radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung fokussieren (Schrader & Bolte 2018; 2019a; 2020); im Fall unserer Untersuchung sind dies die folgenden Szenarien (bzw. in der Terminologie der Risikoforschung, folgende Risikoquellen):

- [1] Lebensmittelbestrahlung,
- [2] Röntgenuntersuchung\*,
- [3] Szintigraphie,
- [4] Bodenbelastung,
- [5] Papierdickenmessung,
- [6] Füllstandsmessung,
- [7] Leckortung,
- [8] Radiojodtherapie.

Wie zu erkennen ist, fokussieren vier der acht Aufgaben auf *Bestrahlungsszenarien* ([1], [2], [5] und [6]), während die vier anderen auf *Kontaminationsszenarien* verweisen ([3], [4], [7], [8]). Vier Szenarien beleuchten *lebensweltliche und medizinisch relevante Anwendungsfelder* ([2], [3], [4] und [8]), die anderen vier fokussieren stärker auf *technische Anwendungsfelder* ([1], [5], [6] und [7]), die keinen unmittelbaren Bezug zur Lebenswelt der Schüler\*innen besitzen dürften.

Um die Schüler\*innen beim Bearbeiten der Tests nicht zu sehr zu belasten, haben wir die Aufgaben auf (zwei-mal-)vier Testheftversionen verteilt (s.u.). Jede Testheftversion beinhaltet fünf der acht konzipierten Aufgaben. Dabei fungieren vier Aufgaben als Ankeraufgaben (es handelt sich dabei um die Aufgaben [1], [2], [3] und [4]). Die 5. Aufgabe wurde dem Aufgabensortiment ([5] bis [8]) entnommen und auf die Testheftversionen verteilt (Schrader & Bolte, 2019a).

Die Aufgaben zum *konzeptuellen Begriffsverständnis* beginnen jeweils mit einem wertneutral formulierten Titel und einer bebilderten Beschreibung des jeweiligen Szenarios. Jedes Szenario repräsentiert im Sinne der Risikoforschung eine (potenzielle) Risikoquelle. Am Ende der kurzen Beschreibung werden die Schüler\*innen aufgefordert, die nachstehenden neun Aussagen (Items) dahingehend zu beurteilen, ob sie die jeweilige Aussage für fachlich richtig oder falsch halten. Die jeweils neun Aussagen wurden so konzipiert, dass sie insgesamt drei Aussagegruppen (Begriffselemente) repräsentieren. Die drei Aussagegruppen greifen die drei o. g. zentralen fachlich-konzeptionellen Begriffselemente auf (*radioaktives Material, Strahlung und Radioaktivität*). Da diese drei Aussagegruppen wiederum drei Beurteilungsoptionen eröffnen, entsteht – konzeptionell betrachtet – eine drei-mal-drei Antwortoptionen umfassende Analyse-Systematik. Die so konzipierten Aussagegruppen erfragen, ob die im Szenario betrachteten Objekte (z.B. die bestrahlten Erdbeeren [1] oder ein per Szintigraphie untersuchter Patient [3]):

1. (a) *vielen*, (b) *wenige* oder (c) *keine radioaktiven Teilchen enthält*,
2. (a) *viel*, (b) *wenig* oder (c) *keine Strahlung enthält und*
3. (a) *stark*, (b) *schwach* oder (c) *nicht radioaktiv ist* (Schrader & Bolte 2018; 2019a; 2020).

Eine *Bestrahlungsaufgabe* wird als korrekt gelöst bewertet, wenn die Aussagenkombination: 1.c, 2.c und 3.c ausgewählt wurde. Um eine *Kontaminationsaufgabe* korrekt zu lösen, ist es unerheblich, ob der Proband/die Probandin darlegt, dass das Objekt viele (1.a) oder wenige (1.b) radioaktive Teilchen enthält, oder ob das Objekt stark (3.a) oder schwach (3.b) radioaktiv ist; beide Optionen gelten als fachlich angemessen und korrekt, da eine quantifizierende Betrachtung fachdidaktisch betrachtet hier irrelevant erscheint. Um eine Kontaminationsaufgabe in Gänze korrekt zu lösen, muss allerdings darüber hinaus auch darlegt werden, dass das betrachtete Objekt, obgleich kontaminiert und somit radioaktiv ist (also Strahlung emittiert), und dennoch keine Strahlung enthält (2.c).

Die für diese Studie gewählte Systematisierung hatte sich bereits in einer Pilotstudie mit 238 Schüler\*innen der Jahrgangsstufe 10 bewährt und erste interessante Einblicke in die Denk- und Argumentationsweisen von Schüler\*innen eröffnet (Schrader & Bolte, 2018).

Angesichts der Ergebnisse aus unserer Pilotstudie wie auch in Anbetracht der Befunde aus den eingangs vorgestellten Schüler-Vorstellungsstudien erwarten wir, dass wir mindestens zwei – wahrscheinlich sogar drei – Gruppen von Schüler\*innen identifizieren werden, die sich hinsichtlich ihrer fachlich-konzeptuellen Vorstellungen deutlich unterscheiden. Zwei der auf dieser Basis zu identifizierenden Gruppen (die beiden Extremgruppen) werden die beiden Teil-Stichproben bilden, anhand derer wir ggf. existierende Zusammenhänge zwischen den fachlich-konzeptuellen Vorstellungen der Schüler\*innen einerseits und der Wahrnehmung und Beurteilung von potenziellen Risikoquellen andererseits untersuchen.

Damit kommen wir zur Frage, wie Schüler\*innen der Jahrgangsstufe 10 ausgewählte Risikoquellen überhaupt wahrnehmen und beurteilen.

#### 4.2. Aufgaben zur Analyse der Wahrnehmung und Bewertung potenzieller Risikoquellen im Bereich Radioaktivität und (ionisierender) Strahlung\*

Bei der Entwicklung der Aufgaben zur Ermittlung der Risikowahrnehmung im Bereich Radioaktivität haben wir uns – wie eingangs erwähnt – am gegenwärtig wohl bedeutsamsten Ansatz der psychologisch motivierten Risikoforschung, dem sog. „Psychometrischen Paradigma“ orientiert (Slovic 1987; 2000; Fischhoff et al. 1978; Slovic, Fischhoff, Lichtenstein 1985). In Studien, die dem psychometrischen Paradigma folgen, werden die Proband\*innen – wie bereits skizziert – gebeten, verschiedene (potenzielle)

Risikoquellen (z.B. den *Verzehr bestrahlter Lebensmittel* (siehe Aufgabe [1]) oder das *„Wohnen in der Nähe eines Kernkraftwerks“* (siehe Schrader & Bolte, 2019a, S. 2) bewertend einzuschätzen.

Unseren Bemühungen, möglichst geeignete Risikoquellen auszuwählen, liegen zwei grundsätzliche Überlegungen zu Grunde: Zum einen wollten wir den Schüler\*innen Risikoquellen zur Einschätzung vorlegen, die auch im Kontext unserer Schüler-Vorstellungsforschung zum Einsatz gekommen sind. Aus diesem Grund sind die vier Szenarien der sog. Anker-Aufgaben in den Fragebogen-Teil zur Risikoeinschätzung aufgenommen worden (siehe Szenarien [1] bis [4]).

Um die Risikobewertungen der Schüler\*innen bzgl. dieser vier ausgewählten Risikoquellen jedoch besser einordnen und inhaltlich interpretieren zu können, haben wir uns darüber hinaus entschieden, zwei sog. *Referenzszenarien* zu konstruieren, die ebenfalls von den Schüler\*innen bzgl. der von ihnen subjektiv wahrgenommen Risiken einzuschätzen sind. Wichtig war uns dabei, dass es sich um Szenarien handelt, die den Schüler\*innen aus ihrem Alltag bekannt sind und dass die Szenarien nicht frei von subjektiv antizipierten Risiken sein sollten.

Zum einen fiel unsere Wahl auf das alltagsnahe Szenario *„ein Sonnenbad nehmen“*. Wir gehen davon aus, dass alle Schüler\*innen wissen, was unter „ein Sonnenbad nehmen“ zu verstehen ist und dass ausgiebiges, zu häufiges oder zu langes ungeschütztes Sonnenbaden mit gesundheitlichen Risiken verbunden sein kann. Die Rückmeldungen der Schüler\*innen zum Szenario *„ein Sonnenbad nehmen“* soll dementsprechend dabei helfen, die Bewertung der anderen Risikoquellen durch die beteiligten Schüler\*innen zumindest relativierend einordnen zu können.

Zum anderen haben wir das Szenario *„in der Nähe eines Kernkraftwerks wohnen“* ausgewählt. Sieht man davon ab, dass in Berlin-Wannsee zwar ein Nuklearer Reaktor zu Forschungszwecken in Betrieb ist – was allerdings in der Bevölkerung kaum bekannt ist, – so ist das Szenario zwar nicht besonders alltäglich oder alltagsrelevant für das Gros der Schüler\*innen; dennoch ist die Vorstellung in der Nähe eines Kernkraftwerks zu wohnen (oder wohnen zu müssen), für Schüler\*innen nicht völlig abwegig oder utopisch, so dass auch dieses Szenario uns als normierendes Referenzszenario geeignet scheint.

Demzufolge liegen die folgenden Szenarien (Risikoquellen) unserem Fragebogen zur Analyse der Risikowahrnehmung zugrunde:

- [1] Lebensmittelbestrahlung: *„Bestrahlte Lebensmittel essen“*,
- [2] Röntgenuntersuchung: *„Röntgenuntersuchungen erhalten“*,\*
- [3] Szintigraphie: *„Radioaktive Stoffe zur Diagnose von Krankheiten in den Körper aufnehmen“* und

[4] Bodenbelastung: „Radioaktiv belastete Lebensmittel essen“ (siehe Schrader & Bolte, 2019a) sowie:

[I] Referenzszenario 1: „in der Nähe eines Kernkraftwerks wohnen“ und

[II] Referenzszenario 2: „ein Sonnenbad nehmen“\* (dieses Szenario wird nur den Gymnast\*innen zur Beurteilung vorgelegt; siehe weiter unten).

Für die abwägenden Bewertungen der potenziellen Risikoquellen wurden den Teilnehmer\*innen – dem psychometrischen Paradigma folgend – insgesamt neun Risikomerkmale vorgelegt; aus der Vielzahl möglicher Risikomerkmale haben wir die folgenden ausgewählt (Schrader & Bolte, 2019a):

1. Eingeschätztes Risiko,
2. Angstgefühl,
3. Kontrollierbarkeit,
4. Vermeidbarkeit,
5. Bekanntheit,
6. Wissenschaftliche Erforschtheit,
7. Vorteil-Risiko-Verhältnis,
8. Schadensschwere,
9. Schadenswahrscheinlichkeit.

Zur Einschätzung der Risikomerkmale-Items (ein Item pro Risikomerkmale pro Risikoquelle) steht eine zehnstufige, endpunktbenannte Ratingskala zur Verfügung (z. B. im Fall der Einschätzung des Risikos eine Skala von 1 = überhaupt kein Risiko bis 10 = sehr hohes Risiko (die anderen acht Risikomerkmale-Skalen besitzen jeweils andere Endpunkt benennende Aussagen; siehe Schrader & Bolte, 2019a).

Die Testhefte für Schüler\*innen an Integrierten Sekundarschulen (ISS) und an Gymnasien (GYM) unterscheiden sich in der Anzahl der zu beurteilenden Risikoquellen, da sich in der Voruntersuchung gezeigt hatte, dass ISS-Schüler\*innen Schwierigkeiten hatten, sich über einen längeren Zeitraum mit den vorgelegten Aufgaben konzentriert zu befassen (Schrader & Bolte, 2018). Aus diesem Grunde wurde in den Testheften der ISS-Teilnehmer\*innen auf die Bearbeitung der Risikobewertungsaufgabe „ein Sonnenbad nehmen“ verzichtet (s.o.), was zum einen die Zahl der Testheftversionen (zwei-mal-vier Versionen) und zum anderen die durchaus unterschiedliche Zahl bearbeiteter Aufgaben im Ergebnisteil erklärt.

#### 4.3. Überlegungen zur Analyse möglicher Zusammenhänge zwischen Schüler-Vorstellungen einerseits und der Wahrnehmung und Beurteilung von (potenziellen) Risikoquellen andererseits

Zur Abschätzung des Effekts der fachlich-konzeptuellen Vorstellungen von Jugendlichen auf deren Risikowahrnehmung, hatten wir geplant, die Proband\*innen anhand ihrer fachbezogenen-konzeptuellen Rückmeldungen drei Gruppen zuzuteilen. Die beiden

Gruppen mit den extremsten Kompetenzausprägungen (Schüler\*innen mit besonders vielen fachlich zutreffenden Antworten versus solche mit besonders vielen fachlich fehlerhaften Antworten) sollten anschließend hinsichtlich ihrer Risikoeinschätzungen gegenübergestellt und verglichen werden.

Eine Antwort wird als „richtig“, d.h. fachlich-konzeptuell stimmig und somit der wissenschaftlichen Sichtweise entsprechend gewertet, wenn *alle* Items einer Aufgabe korrekt markiert werden. Der Festlegung liegen folgende Überlegungen zugrunde:

- Etwas, das oder jemand, der *radioaktive Teilchen enthält*, gilt auch als *radioaktiv* (und umgekehrt), dementsprechend gilt etwas, das oder jemand, der *keine radioaktiven Teilchen* enthält, als *nicht radioaktiv*;
- weder eine Person noch ein Objekt kann *Strahlung enthalten* (im Sinne von „beinhalten“).
- *Kontaminierte Objekte oder Personen* enthalten viele oder wenige radioaktive Teilchen und sind stark oder schwach radioaktiv; sie enthalten allerdings keine radioaktive Strahlung.
- *Bestrahlte Objekte oder Personen* enthalten keine (zusätzlichen) radioaktiven Teilchen, sie sind dementsprechend nicht radioaktiv und enthalten folgerichtig keine Strahlung.

Für die hier beschriebenen Analysen ist – wie zu erkennen ist – die quantifizierende Unterscheidung zwischen viel/wenig bzw. stark/schwach nicht relevant.

Jede im Dreischritt „richtig“ gelöste Aufgabe wird als fachbezogen und konzeptuell stimmig und als richtig gelöst bewertet sowie mit einem Punkt kodiert; demzufolge können Proband\*innen bei fünf zu lösenden Aufgaben maximal fünf Punkte erreichen (Tab. 1).

Nach Festlegung der Vergleichsgruppen werden die Mittelwerte der Risikoeinschätzungen deskriptiv- und varianz-statistisch analysiert. Dabei werden wir auf den Mann-Whitney-U-Test zur Prüfung statistisch signifikanter Gruppenunterscheidungen zurückgreifen, da wir erwarten, dass die erhobenen Daten nicht normalverteilt vorliegen werden.

## 5. Ergebnisse

Die Datenerhebung erfolgte zum Ende des ersten Schulhalbjahres 2018/19 in 31 Klassen der 10. Jahrgangsstufe. Sieben Schulen unterschiedlicher Schulform (vier Gymnasien und drei Integrierte Sekundarschulen) beteiligten sich an der Studie. Die Befragung fand innerhalb des regulären naturwissenschaftlichen Unterrichts statt. Die Dauer der Befragung betrug etwa 25 Minuten.

### 5.1. Stichprobenbeschreibung

Insgesamt haben 598 Schüler\*innen an der schriftlichen Befragung teilgenommen. Für die nachfolgen-

den Analysen konnten die Datensätze von 506 Schüler\*innen ( $N_{Gym} = 338$  und  $N_{ISS} = 168$ ) verwendet werden. Die Gesamtstichprobe setzt sich aus 246 Schülern (48 %) und 231 Schülerinnen (46 %) zusammen; 29 Jugendliche (6 %) haben die Kategorie „keines von beiden“ gewählt ( $M_{Alter} = 15,39$ ,  $Stdev_{Alter} = 0,68$ ).

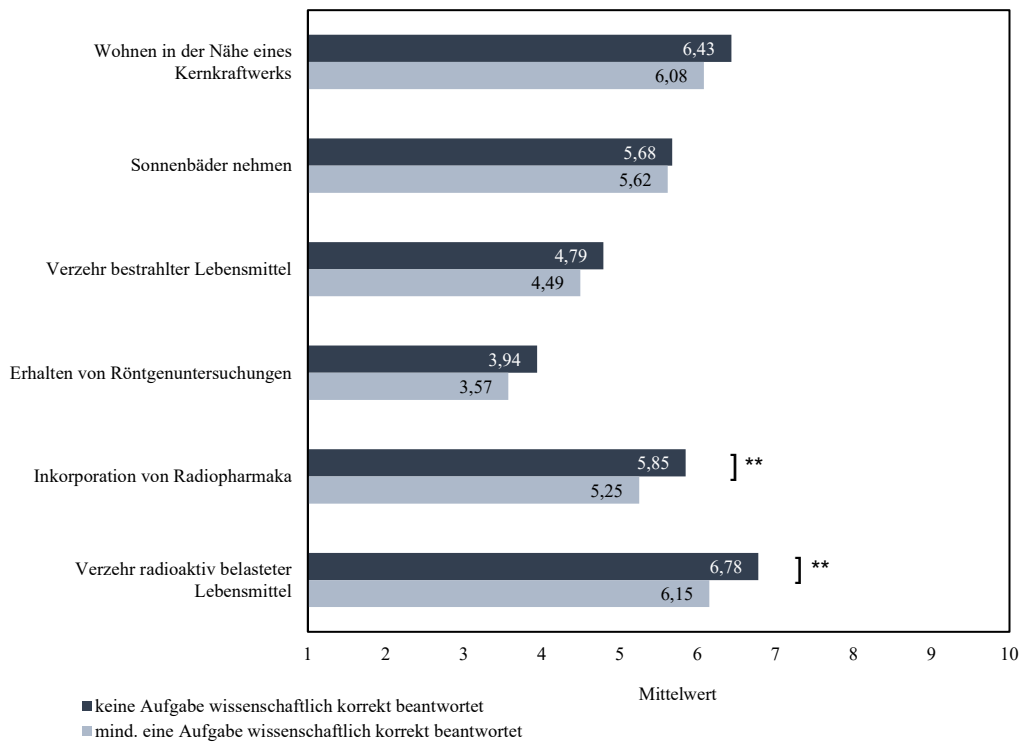
### 5.2. Ergebnisse

Die Häufigkeitsanalysen zeigen, dass gut zwei Drittel (67,8%) der befragten Jugendlichen *keine* der fünf Aufgaben umfassend korrekt beantwortet hat; nur 2% der Befragten hat mehr als zwei Aufgaben in Gänze fachwissenschaftlich korrekt beantwortet (Tab. 1). Aufgrund des geringen Anteils korrekter Antworten, haben wir entschieden, auf eine Dreiteilung der Stichprobe zu verzichten und die Teilung der Stichprobe zugunsten der Teststärke am Median vorzunehmen (Gruppe 1:  $N^0 = 343$  – Gruppe 2:  $N^+ = 163$ ).

| $N_{Aufgaben}$ | $N_{Schüler*in}$ | %     |
|----------------|------------------|-------|
| 0              | 343              | 67,8  |
| 1              | 98               | 19,4  |
| 2              | 55               | 10,9  |
| 3              | 8                | 1,6   |
| 4              | 0                | 0,0   |
| 5              | 2                | 0,4   |
| $\Sigma$       | 506              | 100,0 |

**Tab. 1:** Häufigkeit mit der eine bestimmte Anzahl der Aufgaben der wissenschaftlichen Sichtweise entsprechend und in Gänze korrekt gelöst wurde

Im nachfolgenden Diagramm (Abb. 1) sind die Einschätzungen der beiden auf diese Weise generierten Gruppen bezugnehmend auf das Risikomerkmal „eingeschätztes Risiko“ und differenziert nach den sechs vorgelegten potentiellen Risikoquellen gegenübergestellt.



**Abb.1:** Subjektiv eingeschätztes Risiko bzgl. der verschiedenen Risikoquellen differenziert nach konzeptuellem Verständnis der Schüler\*innen (Antwortskala: 1 = überhaupt kein Risiko – 10 = sehr hohes Risiko, \*\*  $p < 0,01$ )

Bereits auf den ersten Blick fällt auf, dass die Jugendlichen, die keine Aufgabe korrekt beantwortet haben, die Risiken, die sie mit den ihnen vorgelegten Risikoquellen verbinden, im Mittel höher einschätzen als die Jugendlichen, die mindestens eine Aufgabe gänzlich korrekt beantworteten. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden unabhängigen Stichproben lassen sich allerdings nur bei den Einschätzungen der Risiken, die mit der Inkorporation von Radiopharmaka und dem Verzehr radioaktiv belasteter Lebensmittel verbunden sind, feststellen; der

Mann-Whitney-U-Test zeigt jeweils hoch signifikante Ergebnisse ( $p < 0,01$ ). – Ein statistisch signifikanter Einfluss der Variable *konzeptuelles Verständnis* auf die Variable *Risikowahrnehmung* lässt sich lediglich bzgl. der Skala *Verzehr radioaktiv belasteter Lebensmittel* feststellen ( $\beta = -.15$ ,  $p < .05$ ).

Betrachtet man die Ergebnisse der Gesamtstichprobe (o. Abb.), so ist u. E. bemerkenswert, dass sich die Einschätzungen der jeweiligen Risikoquellen im Gros statistisch signifikant unterscheiden; lediglich die Paarvergleiche der Risikoquellen a) *Sonnenbaden*

und *Radiopharmaka einnehmen* sowie b) *radioaktiv belastete Lebensmittel essen* und *in der Nähe eines Kernkraftwerkes wohnen* unterscheiden sich nicht im statistisch signifikanten Ausmaß. Im Umkehrschluss lässt sich dieser Befund so interpretieren, dass diese beiden Paarvergleiche von den Schüler\*innen ähnlich risikobehaftet beurteilt werden; dass also das Einnehmen von Radiopharmaka so riskant wie das Sonnenbaden eingeschätzt wird und/oder dass das Wohnen in der Nähe eines Kernkraftwerkes bereits so riskant erachtet wird wie das Konsumieren radioaktiv belasteter Lebensmittel.

Erwähnenswert erscheint uns außerdem, dass zwei (der insgesamt sechs) potenziellen Risikoquellen als eher nicht risikobehaftet eingestuft werden; die Mittelwerte der Risikoquellen *eine Röntgenuntersuchung erhalten* und *bestrahlte Lebensmittel verzehren* sind kleiner als 5,5 und liegen somit unterhalb des theoretischen Mittelwerts.

## 6. Interpretation und Fazit

Das eigens entwickelte Befragungsinstrument hat sich u. E. als geeignet erwiesen, um Zusammenhänge bzgl. der konzeptuellen Performanz von Schüler\*innen, die Begriffe *Strahlung*, *radioaktives Material* und *Radioaktivität* in Kombination fachlich korrekt anzuwenden, systematisch untersuchen zu können. Der hohe Anteil der Jugendlichen, der leider keine der Aufgaben der wissenschaftlichen Sichtweise entsprechend und umfassend beantwortet hat, macht deutlich, dass die Jugendlichen die entsprechenden Begriffselemente eben nicht fach- und sachgerecht sowie konzeptuell angemessen anwenden (können). Insbesondere die fachlich inkorrekte Formulierung „*ein Objekt/eine Person enthielte Strahlung*“ wird von der Mehrheit der Jugendlichen als fachlich korrekt angenommen. Problematisch ist außerdem die *Schüler-Vorstellung*, dass *die Bestrahlung eines Objekts oder einer Person, zu dessen bzw. zu deren Kontamination führe* und dass *bestrahlten Objekten bzw. Personen diese Strahlung quasi einverleibt werde und sie auf diesem Weg selbst zu Strahlungsquellen würden* (Schrader & Bolte, 2018; 2020). Damit bestätigen unsere Ergebnisse Befunde vorangegangener Studien, die allerdings kleinere Stichproben beruhen, die in der Regel mittels qualitativer Methoden untersucht wurden.

Ferner zeigen die Ergebnisse unserer Studie, dass sich Jugendliche, die über ein (zumindest etwas) besseres, wissenschaftlich zutreffendes, konzeptuelles Verständnis verfügen, von denen, die keine Aufgabe gänzlich korrekt bearbeiteten, hinsichtlich ihrer Risikoeinschätzungen in allen zur Einschätzung vorgestellten Szenarien zumindest tendenziell unterscheiden; in zwei Fällen (bzgl. *der Einnahme von Radiopharmaka* und bzgl. *des Verzehrs radioaktiv belasteter Lebensmittel*) sind die Gruppenunterscheidungen statistisch signifikant. Dabei geht mit Blick auf alle sechs Szenarien ein unzutreffendes konzeptionelles

Verständnis mit einer größeren Risikowahrnehmung einher.

Der Einfluss des konzeptuellen Verständnisses auf Risikobewertungen ist unseren Ergebnissen folgend – statistisch betrachtet – insgesamt als eher gering zu bezeichnen; denn nur in einem Fall – im Fall des *Verzehrs radioaktiv belasteter Lebensmittel* – führen die Regressionsanalysen zu einem statistisch signifikanten Effekt ( $\beta = -.15$ ,  $p < .05$ ). Dabei weist das Vorzeichen des  $\beta$ -Wertes darauf hin, dass je geringer das konzeptuelle Verständnis ausfällt, umso größer das Risiko der entsprechenden Risikoquelle eingeschätzt wird.

Dass die Ergebnisse dieser Untersuchung statistisch betrachtet eher unspektakulär erscheinen mögen, mag dem Umstand geschuldet sein, dass wir bewusst solche potenziellen Risikoquellen ausgewählt und den Schüler\*innen zur Einschätzung vorgelegt haben, die möglicherweise von vornherein als wenig risikobehaftet eingeschätzt werden; schließlich handelt es sich ja bei den vier Anker-Szenarien um solche aus den Bereichen Medizin und Ernährung, so dass die diese Szenarien per se eher als nicht so risikobehaftet wahrgenommen werden ( $M < 6,6$  bei  $M_{\text{theo.}} = 5,5$ ).

Ob solche Einschätzungen von Jugendlichen auch zurückgemeldet werden, wenn die Szenarien vermeintlich oder gar objektivierbar deutlich riskanter erscheinen (z.B. sich einer Strahlentherapie unterziehen, in einer radioaktiv kontaminierten Region wie Tschernobyl oder Fukushima leben oder in der Nähe eines nuklearen Zwischenlagers wohnen) ist es wert, untersucht zu werden.

Wir würden erwarten, dass die Einschätzung von Risikoquellen, die vorurteilsbehafteter attribuiert werden könnten (z.B. Arbeiten in einem Kernkraftwerk oder in einem Betrieb der Wiederaufbereitung oder der Entsorgung ausgedienter etc.), einerseits deutlich höher ausfallen könnten als dies in unseren Beispielen der Fall gewesen ist, und dass andererseits mehr und stärkere Effekte vom konzeptionellen Verständnis auf die Risikobewertungen nachweisbar werden könnten. Ebenso spannend und wichtig erachten wir das Vorhaben, das Untersuchungsdesign noch einmal zu nutzen, um Personen zu untersuchen, die über größere Expertise und solidere Kompetenzen in Bereich Radioaktivität und ionisierende Strahlung verfügen (sollten), z.B. Studierende der Chemie oder Physik bzw. Schüler\*innen in Chemie- oder Physik-Leistungskursen.

Darüber hinaus wäre es u. E. auch interessant in Erfahrung zu bringen, in nachfolgenden Studien z.B. die Frage zu beantworten, welchen Einfluss kulturelle Variablen auf das konzeptuelle Verständnis einerseits und auf die Risikobewertung andererseits ausüben. Hier drängt sich u. E. die Untersuchung von Jugendlichen auf, die tatsächlich in der Nähe eines Kernkraftwerks oder eines nuklearen Zwischenlagers wohnen, die im Erzgebirge aufgewachsen sind oder die in historisch-geprägten Orten (z. B. in Hiroshima

oder in der Nähe von Fukushima) leben. Die Datenerhebung von Schüler\*innen in Hiroshima haben wir bereits in Angriff genommen (Güler, Schrader & Bolte, in Arbeit).

## 7. Literatur

- Aebli, H. (2001). *Zwölf Grundformen des Lehrens. Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Medien und Inhalte didaktischer Kommunikation, der Lernzyklus*. Klett-Cotta. 11. Auflage
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer-Verlag, 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage
- Boyes, E. & Stanisstreet, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, mode of travel, uses and dangers. *Research in Science and Technological Education*, 12 (2), 145-160
- Diehl, J. F. (2003). *Radioaktivität in Lebensmitteln*. Weinheim: Wiley
- Dietz, D. & Bolte, C. (2021). Mehrdimensionale Analyse zur Vernetzung von Begriffselementen des Basiskonzepts Energie. In diesem Tagungsband.
- Eijkelhof, H. M. C. & Millar, R. (1988). Reading about Chernobyl: the public understanding of radiation and radioactivity. *School Science Review*, 70 (251), 35-41
- Eijkelhof, H. M. C. (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Utrecht: CDBeta Press.
- Fischhoff, B., Slovic, P., Lichtenstein, S., Read, S. & Combs, B. (1978). How safe is safe enough? A psychometric study of attitudes towards technological risks and benefits. In: *Policy Sciences*, 9, 127-152
- Lijnse, P. L., Eijkelhof, H. M. C., Klaassen, C. W. J. M., & Scholte, R. L. J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), 67-78
- Millar, R. (1994). School students' understanding of key ideas about radioactivity and ionizing radiation. *Public Understanding of Science*, 3, 53-70
- Millar, R. & Gill, J.S. (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. In: *Physics Education*, 31 (1), 27-33
- Pfundt, H. & Duit, R. (2009). *Bibliography - Students alternative frameworks and science education*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften
- Riesch, W., & Westphal, W. (1975). Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung. *Der Physikunterricht*, 9(4), 75-85.
- Schrader, N., & Bolte, C. (2018). Vorstellungen vom Unsichtbaren – Schülervorstellungen zum Thema Radioaktivität und ionisierende Strahlung. In: Maurer, C. (Hrsg.). *Qualitätsvoller Chemie- und Physikunterricht - normative und empirische Dimensionen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 38, 780-783
- Schrader, N., & Bolte, C. (2019). Todsicher oder sicher tot? Risikowahrnehmung von Schüler\*innen im Themenfeld der Radioaktivität. In: Maurer, C. (Hrsg.). *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 39, 780-783
- Schrader, N. & Bolte, C. (2019a) Fragebogen - Radioaktivität und Ionisierende Strahlung. Freie Universität Berlin. (Polyskript)
- Schrader, N., & Bolte, C. (2020). Schülervorstellungen im Bereich der Radioaktivität. In: Habig, S. (Hrsg.). *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Band 40, 491-494
- Slovic, P. (1987). Perception of risk. In: *Science*, 236, 280-285
- Slovic, P. (2000). *The Perception of Risk*. London: Earthscan
- Slovic, P., Fischhoff, B. & Lichtenstein, S. (1985). Characterizing perceived risk. In: Kates, R.W., Hohenemser, C. & Kasperson, J.X. (Hrsg.). *Perilous progress: Managing the hazards of technology*. Boulder, CO: Westview, 91-125