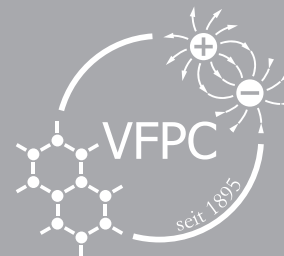


plusLucis



Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts



Radioaktivität

Impressum

PLUS LUCIS, Mitteilungsblatt des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und des Fachausschusses Physik & Schule der Österreichischen Physikalischen Gesellschaft (VZR: 668472729) Erscheint vierteljährlich

Medieninhaber:

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts
 Adr.: AECC Physik Universität Wien, Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
 Web: <https://www.pluslucis.org>
 Mail: schriftenleitung@pluslucis.org

Redaktion:

Mag. Dr. Thomas Plotz (Leitung)
 Mag. Brigitte Knaus
 Mag. Sarah Zloklikovits

Verantwortlicher Herausgeber

dieser Ausgabe:

Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
 Universität Wien, Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik (AECC Physik)
 E-Mail: martin.hopf@univie.ac.at

HerausgeberInnenteam:

Univ.-Prof. Dr. Claudia Haagen-Schützenhöfer
 Universität Graz, Physikdidaktik
 E-Mail: claudia.haagen@uni-graz.at
 Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
 Universität Wien, Physikdidaktik
 E-Mail: martin.hopf@univie.ac.at
 Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens
 Universität Wien, Chemiedidaktik
 E-Mail: anja.lembens@univie.ac.at
 Univ.-Prof. Dr. Thomas Wilhelm
 Universität Frankfurt, Physikdidaktik
 E-Mail: wilhelm@physik.uni-frankfurt.de

Bezugshinweise:

Das Abonnement der Zeitschrift ist für Vereinsmitglieder im Mitgliedsbeitrag inkludiert.

Ein institutionelles Abonnement (z. B. für Bibliotheken) ist zum Bezugspreis von 40 Euro im Jahr möglich.

Offenlegung nach § 25 des Mediengesetzes Grundlegende Richtung: Fortbildung und fachliche Information für Physik- und ChemielehrerInnen, organisatorische Mitteilungen, Vereinsinterna.

Für die Inhalte der Artikel sind ausschließlich die namentlich genannten AutorInnen verantwortlich.

Titelbild (Umschlag):

Martin Hopf

Inhalt

Becquerel 2.0 – Elektronische Nebelkammer.....	4
<i>Axel-Thilo Prokop und Ronny Nawrodt</i>	
Radioaktivität und Zufall – eine forschungsbasierte Unterrichtskonzeption.....	9
<i>Alexandra Jansky und Martin Hopf</i>	
Ein neues Experiment zu den Grundlagen des Lasers „Fluoreszenzabklingen eines metastabilen Laserniveaus und Rubin Spektroskopie“.....	13
<i>Ilja Rückmann</i>	
Radioaktivität untersuchen.....	14
<i>Michael M. Hull und Marco Klestil</i>	
Rezension zu Alexander Pusch, Niels Haverkamp, 3D Druck für Schule und Hochschule.....	16
<i>Florian Budimaier</i>	
Jeder Mensch ist radioaktiv.....	17
<i>Michael M. Hull, Saiki Kitagawa, Haruki Abe, Hiroshi Yokotani und Haruhiko Funahashi</i>	
Vor- und Nachteile gängiger Analogien in der Radioaktivität.....	20
<i>Michael M. Hull und Martin Hopf</i>	
Wann ist der beste Zeitpunkt, um den Zerfall eines radioaktiven Kerns zu beobachten?.....	24
<i>Michael M. Hull und Martin Hopf</i>	
Nukleare Bedrohungsszenarien und Zivilschutz.....	26
<i>Rudolf Engelbrecht und Marianne Korner</i>	
Rezension zum Buch Unsicherheiten, aber sicher!.....	34
<i>Clemens Nagel</i>	

Editorial

Liebe Leser*innen,

Radioaktivität, das ist doch ein alter Hut? Schließlich haben wir doch in Österreich kein Kernkraftwerk und keine Kernwaffen. Und Kernenergie wird oft als gestrige Technologie gesehen, für deren langfristige Folgen keine Lösungen vorliegen. Warum dann überhaupt noch „Radioaktivität“ unterrichten? Und sogar noch ein Themenheft von Plus Lucis?

Na ja, die Wirklichkeit ist wieder einmal komplexer als wir uns das wünschen würden. Nach wie vor importieren wir elektrische Energie, die in Kernkraftwerken „erzeugt“ wurde. Der Einsatz von Kernwaffen ist nicht mehr so undenkbar, wie er es noch vor einem Jahr gewesen wäre. Im Ukraine-Krieg werden Kernkraftwerke beschossen. Radioaktivität ist ein wichtiger Bestandteil moderner Technologien, z. B. in der medizinischen Diagnostik und Therapie. Beim Hausbau muss in manchen Gegenden Österreichs extra berücksichtigt werden, dass der Erdboden Radongas abgibt. Nach wie vor sind manche Pilze nach dem Unfall in Tschernobyl radioaktiv belastet. Und natürlich gehört Radioaktivität unverzichtbar zum Kanon physikalischer Inhalte. Und für mich persönlich gehört die Beobachtung einer Nebelkammer nach wie vor zu den tollsten Erfahrungen. Immer wenn ich Zugang zu einer solchen Nebelkammer bekomme, bleibe ich lange stehen und warte auf lange dünne und kurze dicke Spuren.

Sie sehen, es gibt eine große Anzahl von Argumenten, Radioaktivität im Physikunterricht zu behandeln. Und es hat sich in den letzten Jahren (nicht nur in der Fachdidaktik) einiges getan. Ein Themenheft von Plus Lucis ist also gerechtfertigt.

Im ersten Beitrag des Heftes stellen *Prokop* und *Nawrodt* vor, wie man eine Webcam zur Detektion ionisierender Strahlung einsetzen kann. Es zeigt sich, dass man mit vergleichsweise kleinem Aufwand eine kontinuierlich messende elektronische Nebelkammer bauen kann. Ich kann nur allen Leser*innen empfehlen, eine der vielen im Lauf der Pandemie beschafften Webcams hierfür zu opfern.

Jansky und *Hopf* beschreiben im zweiten Beitrag eine Unterrichtskonzeption zur Einführung in die Radioaktivität, die den zufälligen Charakter des radioaktiven Zerfalls in den Mittelpunkt stellt. Wie sich zeigt, ist es für Schüler*innen besonders schwierig einzusehen, dass zwar der Zeitpunkt eines einzigen Zerfalls unmöglich vorherzusagen ist, wohl aber das Verhalten einer großen Menge radioaktiver Kerne. Dass sich Zufall und Gesetzmäßigkeit durchaus vereinbaren lassen, ist schwer zu lernen. Das vorgestellte, im Rahmen einer fachdidaktischen Dissertation entwickelte Konzept verspricht hier Erfolg.



Martin Hopf

Eine weitere Unterrichtskonzeption stellen *Hull* und *Klestil* im nächsten Beitrag vor. Bei „Inquiry into Radioactivity“ handelt es sich um, für den amerikanischen Kontext entwickeltes Unterrichtsmaterial, das jetzt erstmalig ins Deutsche übertragen und für österreichische Schulen adaptiert wurde.

Eine dritte Unterrichtskonzeption steht im Fokus des Beitrags von *Hull*, *Kitagawa*, *Abe*, *Yokotani* und *Funabashi*. TRAU („The Radiation Around Us“) versucht, Schüler*innen die Radioaktivität auf unterhaltsame und gleichzeitig verständliche Art und Weise zu vermitteln. Dabei wird eine für Japan entwickelte Unterrichtsmethode verwendet. Im Beitrag wird das (inzwischen auf Deutsch übersetzte) Material vorgestellt.

Ein Beitrag von *Hull* und *Hopf* widmet sich den verschiedenen Analogien für den radioaktiven Zerfall. Wie sich bei genauerer Betrachtung zeigt, haben viele dieser Analogien mehr Nachteile als man eigentlich annehmen würde. Als besonders schwierig erweist sich auch hier, Analogien zu finden, die verdeutlichen, dass die Zeit die eigentliche Zufallsvariable ist.

Eine kleine mathematische Fingerübung von *Hull* und *Hopf* dient der fachlichen Klärung. Dabei wird gefragt, wann ein eingeschlossener radioaktiver Kern denn am wahrscheinlichsten zerfallen wird. Man kann dabei leicht auf die Idee kommen, dass hier eine Paradoxie vorliegen könnte.

Last but not least schließt ein fachlicher Beitrag das Heft ab. *Engelbrecht* und *Korner* analysieren die reale Gefährdung durch nukleare Gefahren für Österreich. Sie erläutern detailliert die Vorgänge bei einem Unfall in einem Kernkraftwerk bzw. bei der Detonation einer Kernwaffe. Sie beschreiben konkret die verschiedenen Szenarien und mögliche Auswirkungen auf Österreich. Sie erklären dann auch die verschiedenen vorbereiteten Maßnahmen. Auch wenn wir alle hoffen, dass es keinen solchen Vorfall geben wird, ist es gut, vorbereitet zu sein. Besonders danke ich diesen beiden Autor*innen auch für die extrem kurzfristige Erstellung ihres schönen Beitrags, der durch den Ausfall eines anderen Artikels bedingt war.

Wir hoffen, dass dieses Heft Ihnen Lust darauf macht, ein scheinbar veraltetes Thema für den Physikunterricht vielleicht neu zu entdecken. Viel Spaß bei der Lektüre!

Martin Hopf

Becquerel 2.0 – Elektronische Nebelkammer

Axel-Thilo Prokop und Ronny Nawrodt

1. Einleitung

Ionisierende Strahlung ist gefährlich. Und: Wir können sie nicht mit unseren Sinnen wahrnehmen. Im Rahmen des Physikunterrichts wird an dieser Stelle häufig die Nebelkammer als Archetyp von Teilchendetektoren vorgestellt. Die diversen Betriebsvarianten bringen für den Unterricht in der Schule jedoch auch eine Vielzahl an Problemen mit sich. Neben den technischen Herausforderungen bei dem Betrieb einer Nebelkammer (z. B. bei Kühlung durch Trockeneis), ist häufig auch die Sichtbarkeit für eine ganze Klasse nur schwierig zu realisieren. Beim Betrieb einer diskontinuierlichen Variante lassen sich zwecks Sichtbarkeit eigentlich nur Fotografien anfertigen. Historisch betrachtet stellen die Versuche von Becquerel eine der Grundlagen für die Beobachtung ionisierender Strahlung durch die Belichtung von Fotoplatten dar. Anhand der unterschiedlichen Eindringtiefe unterschiedlicher Materialien ließen sich hier auch erstmalig unterschiedliche Strahlungsarten differenzieren [1]. Die Nutzung von Fotoplatten in diesem klassischen Sinne führt jedoch auch nur zu statischen Bildern. Durch den Umbau einer Webkamera zu einer „Nebelkammer“ lassen sich direkt Beobachtungen durchführen, die modernen Teilchendetektoren nahezu gleichgestellt sind. Es sind also ähnlich gute Beobachtungen wie bei einer Nebelkammer möglich, wobei deren Erzeugung den Schüler*innen aus dem Alltag bekannt sein wird. Dadurch lassen sich die historischen Anfänge der Kernphysik mit modernen Alltagsgeräten verknüpfen [2].



Abbildung 1: Webkameras lassen sich auch als Detektor für ionisierende Strahlung nutzen.

Neben einer Erklärung des Umbaus der Webkameras wird in diesem Text eine freie Software vorgestellt, mit der Teilchenspuren aufgezeichnet werden können (s. Abb. 1). Im Anschluss an die Hard- bzw. Software widmet sich der Artikel dann möglichen Experimenten.

2. Die Webkamera

Webkameras sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Sie bestehen aus einer USB-Schnittstelle, einem lichtsensitiven zweidimensionalen Sensor und einer auf den Sensor abbildenden Optik – dem Objektiv. Der Sensor sitzt häufig auf einer Platine, die von einem Plastikgehäuse ummantelt ist. Durch das Objektiv wird auf dem Sensor ein reelles Bild erzeugt. Je nach Helligkeit und Wellenlänge der einfallenden Strahlung werden mehr oder weniger Elektron-Loch-Paare im Pixel des Sensors erzeugt, was zu einem stärkeren oder schwächeren auslesbaren Signal führt. Die Umwandlung von sichtbarem Licht zu einem elektrischen Signal erfolgt ähnlich zur Funktionsweise einer Fotodiode (siehe Abb. 2). Das einfallende Photon erzeugt im pn-Übergang ein freies Elektron-Loch-Paar, das als elektrischer Strom detektiert wird.

Die Erzeugung von Elektron-Loch-Paaren kann neben der sichtbaren Strahlung auch durch UV und Nahinfrarot erfolgen (siehe Abb. 2) [3]. Bei Silizium-basierten Sensoren verschwindet ab 1100 nm üblicherweise die Empfindlichkeit des Sensors, da hier die Photonenenergie nicht mehr ausreicht, um die Energielücke $E_g = 1,12$ eV im Silizium zu überwinden. Im Bereich unterhalb von 400 nm (nahes UV) nimmt die Empfindlichkeit des Sensors ebenfalls ab, da hier die Photonen mit kürzer werdender Wellenlänge eine immer geringere Eindringtiefe in das Halbleitermaterial besitzen und so keine effiziente Elektron-Loch-Paar-Erzeugung mehr stattfindet, obwohl es energetisch möglich sein sollte.

Freie Ladungsträger können allerdings auch durch ionisierende Strahlung erzeugt werden. Die Energie der ionisierenden Strahlungsquanten ist viel größer als die notwendige Mindestenergie zum Erzeugen von Elektron-Loch-Paaren. Durch zahlreiche Stöße im Halbleitermaterial wird eine ganze Kaskade von Ladungsträgern erzeugt, die im pn-Übergang ebenfalls ein

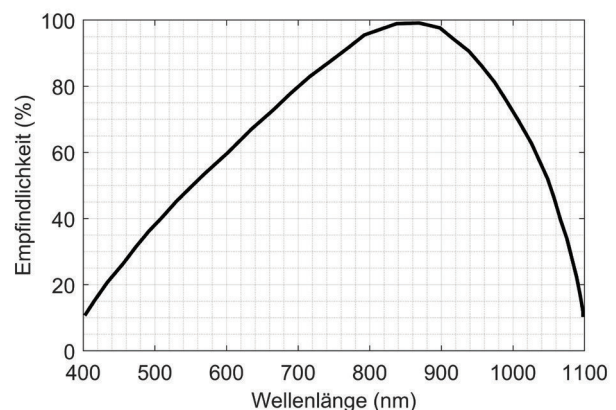


Abbildung 2: Spektrale Empfindlichkeit einer üblichen Fotodiode [3].

Signal erzeugen und von Signalen, die durch sichtbares Licht erzeugt werden, nicht unterschieden werden können.

Digitale Bilder setzen sich aus vielen Pixeln zusammen. Eine Webkamera bildet ein reales Bild dabei durch viele fotosensitive Bauelemente ab, die dieses Raster aus vielen verschiedenen Pixeln widerspiegeln. Doch wie reagiert hier jeder einzelne Pixel der Webkamera auf die einfallende Strahlung? Prinzipiell besteht ein Pixel aus einem lichtsensitivem Bauelement, welches die einfallende Strahlung in eine elektrisch messbare Größe umwandelt. Im Falle eines Schwarz-Weiß-Bildes trägt also jeder Pixel eine Information darüber, wie dunkel bzw. wie hell (0-255) der Pixel jeweils war. Zur Unterscheidung verschiedener Farben, werden passende Filter aufgebracht.

2.2 Der Umbau der Webkamera

Ziel des Umbaus ist es, die Platine bzw. den Sensor auf der Platine freizulegen und diesen, anstatt sichtbarer Strahlung, ionisierender Strahlung auszusetzen (s. Abb. 2). Ähnlich wie Fotofilme reagiert der Sensor der Kamera auch auf höherfrequente bzw. energetisch höhere Strahlung wie z. B. UV-Strahlung. Aber sollten Webkameras nicht eigentlich nur für die Messung sichtbarer Strahlung nützlich sein? Die Verwendung kostengünstiger Webkameras hat hier einen entscheidenden Vorteil. Häufig sind die Gehäuse zugänglich



Abbildung 3: Günstige Kameras lassen sich häufig leicht aufschrauben und verändern. In der Bildmitte ist der Sensor zu erkennen.

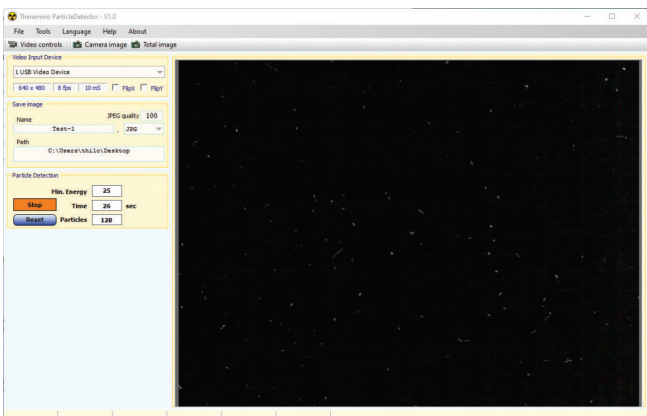


Abbildung 4: Überblick über das Detektorprogramm. Das Programm zählt die Ereignisse zudem mit und misst auch die Versuchsdauer.

verschraubt und lassen sich somit leicht öffnen. Neben der Wahl eines günstigen Modells ist auch eine Betrachtung älterer Modelle interessant. Häufig besitzen ältere Modelle einen größeren Sensor, der zwar eine geringere Auflösung bietet, aber die aktive Fläche erhöht. Diese sind häufig auch in ihrem optischen Aufbau einfacher gehalten. So besitzen sie im Vergleich häufig eine leichter entfernbare Optik, da der Aufbau in Hinblick auf den Raumbedarf nicht vollständig optimiert wurde. Ziel der Messung ist es, eine Art Dauerbelichtung zu erzeugen. Dazu werden später viele Bilder zusammengefasst, durch die dann der Eindruck einer Dauerbelichtung entsteht. Die Messung wird daher bereits durch schwaches Streulicht gestört. Insbesondere bei großen Messzeiten ist auf eine Abdeckung des Sensors zu achten. Vorteilhaft ist es hier, das Gehäuse der Webkamera weitestgehend zu erhalten, um damit seitliches Streulicht zu vermeiden. Auch die Verwendung eines Pappkartons oder ähnlichem zwecks Abdunkelung erweist sich als vorteilhaft. Insbesondere bei Proben wie z. B. Düngemittel bzw. Kaliumchlorid entsteht Streulicht auch bei der erwünschten Eintrittsöffnung, sodass sich hier ein zusätzlicher Karton hilfreich erwiesen hat. Trockene Proben können auch direkt auf den Sensor aufgelegt werden, um so die Anzahl der registrierten Ereignisse zu maximieren.

3. Programm

3.1 Messprinzip & Durchführung

Webkameras werden für die Übertragung von Videos z. B. in Videokonferenzen genutzt. Dabei wird innerhalb der Belichtungsdauer ein Bild (Frame) aufgenommen und während der nächsten Belichtungsdauer ein weiteres. Dadurch entsteht der Eindruck eines bewegten Bildes, sofern die Framerate ausreichend hoch ist, also ausreichend Bilder pro Sekunde erzeugt werden. Ionisierende Strahlung hinterlässt Spuren nur innerhalb der Belichtungsdauer und erzeugt damit keinen überzeugenden Ersatz für z. B. eine Nebelkammer, da bei einer Nebelkammer die Spuren lange sichtbar bleiben. Dieses Problem lässt sich jedoch durch eine geschickte Bearbeitung der Bilder bzw. Videos beheben [4,5]. Hierbei werden die entstandenen Bilder so kombiniert, dass ein „weißer“ Pixel des Bildes auch „weiß“ bleibt und folgende Spuren auf das alte Bild addiert werden.

Ähnlich wie im Normalbetrieb einer Webkamera werden auch Bilder erzeugt, diese werden jedoch nicht einfach nur aneinandergehängt, um den Eindruck eines Videos bzw. Bewegtbildes zu erzeugen. Zu Beginn wird das erste Bild A aufgezeichnet. Das erste Bild A wird anschließend mit dem nächsten Bild B verglichen und systematisch ein Bild C erzeugt. Dieser Vergleich von A und B erfolgt pixelweise. Dabei vergleicht das Programm, ob für den Pixel ein bestimmter Helligkeitswert (0-255) in A oder B überschritten wird und dieser Pixel erhält dann in C die entsprechende Helligkeit. Dies hat gegenüber der Bildung des arithmetischen Mittels den Vorteil, dass bereits registrierte Spuren erhalten bleiben. Bei einer Überlagerung ohne die Nutzung eines Schwellenwertes werden

hingegen irgendwann alle Pixel aufgrund des thermischen Rauschens weiß werden und somit geht die Information, über die eigentlich zu messende ionisierende Strahlung verloren. Dadurch lässt sich der Effekt einer Dauerbelichtung durch die fortwährende Addition neuer Bilder bzw. Spuren erreichen.

3.2 Nutzeroberfläche Theremino Particle Detector

Physikalische Daten lassen sich häufig auch mit alltäglicher Elektronik in das Klassenzimmer einbetten. Theremino ist ein italienisches Open-Source-Projekt, welches unter anderem auch das hier genutzte Programm entwickelt hat und damit auch für Lehrer*innen zur Verfügung stellt [5]. Die Nutzeroberfläche des Programms „Theremino Particle Detector“ (s. Abb. 3) lässt zunächst eine Auswahl der passenden Webkamera zu.

Die umgebaute Webcam ist bei einem normalen Lichteinfall durch die fehlende Optik und damit dem Fehlen eines scharfen Bildes zu erkennen. Zur Messung der ionisierenden Strahlungen sind einige Veränderungen an den Einstellungen der Webkameras vorzunehmen. Diese Veränderungen können über das Menü „Video Inputs Controls“ aufgerufen werden (s. Abb. 4). Der Lichtwert sollte auf -7 gesetzt werden, was zu einer Belichtungsdauer von 1 s entspricht. Die Verstärkung sollte auf den Maximalwert von 100 gesetzt werden. Wichtig ist hierbei, dass die jeweiligen Maxima bzw. Einstellungsmöglichkeiten herstellerbedingt abweichen können. Ebenso sollte die digitale Schärfe des Bildes (Sharpness) auf den Maximalwert gestellt werden, hierdurch werden auch einzelne Pixel kontrastreich dargestellt. Sofern die Kamera über die Einstellungen verfügt, sollte auch die Hintergrundbeleuchtung (Backlight) abgeschaltet werden, diese dient nur zur digitalen Aufhellung des Bildes und ist für die Messungen unnötig. Neben diesen Einstellungen ist es empfehlenswert, mit weiteren Einstellungen zu experimentieren. Modernere Kameras besitzen häufig noch weitere einstellbare Parameter, wie z. B. die

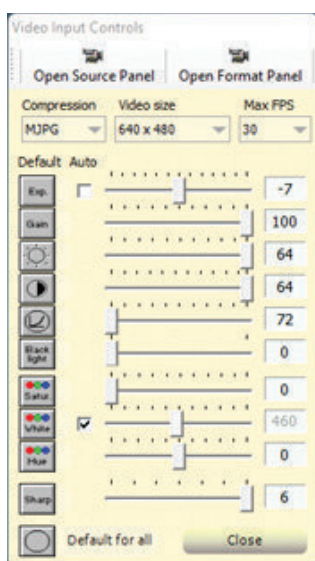


Abbildung 5: Überblick über die Videoeinstellungen. Bei Problemen ist dies die erste Anlaufstelle.

Einstellungen „White“ und „Saturation“. Über „White“ kann eine Anpassung der Farbtemperatur vorgenommen werden. Allerdings sind wir an kontrastreichen Graustufenbildern interessiert, sodass wir auch die Farbsättigung auf 0 setzen können und die Farbtemperatureinstellung keine Rolle mehr spielt. Das Programm kann auch Ereignisse zählen. Allerdings treten hier aufgrund der Auswertungsmethode eine Differenz zu den zählbaren Ereignissen des Bildes auf und wird daher hier nicht weiter betrachtet.

Für die vorliegende Webkamera wurden auch noch die Helligkeit (Brightness) und der Kontrast verändert. Durch die Wahl unterschiedlicher Kontrasteinstellungen können die Teilchenspuren klarer hervorgehoben werden. Allerdings wird unter Umständen auch Rauschen deutlicher dargestellt, sodass es sinnvoll erscheint, den Kontrast moderat zu verstärken. Die Helligkeit sollte hingegen moderat hoch eingestellt werden, sodass die Teilchenspuren sich klar von dem ansonsten grauen Hintergrund abgrenzen. Der Helligkeitseindruck des Bildes wird bei unterschiedlichen Webkameras zudem über zwei verschiedene Parameter eingestellt. In Abb. 4 ist neben der Helligkeit auch noch der Gammawert (72) angegeben. Durch eine geschickte Auswahl lässt sich eine ausreichende Verstärkung ohne eine Vergrauung des Bildes erreichen.

4. Mögliche Experimente

Ionisierende Strahlung wird häufig durch die drei klassischen Typen Alpha-, Beta- und Gammastrahlung kategorisiert. Der hier präsentierte Sensor ist für Alpha- und in besonderer Weise für Betastrahlung empfindlich. Eine direkte Wirkung der Gammastrahlung ist nahezu ausgeschlossen, selten werden jedoch Fotoelektronen innerhalb des Sensors ausgelöst. Neben häufig für Schulen nicht zugänglichen Präparaten sind jedoch auch Messungen der Nullrate möglich, erfordern dann aber mehr Zeit. In den folgenden Abschnitten sollen nun zwei wesentliche der schultauglichen Experimente präsentiert werden.

4.2 Alpha- und Betastrahlung

Während bei der Messung von Becquerel die Absorptionsfähigkeit von z. B. Papier im Vordergrund stand, anhand derer die Existenz unterschiedlicher Arten ionisierender Strahlung vermutet werden konnte, lassen sich in dem gezeigten Aufbau unterschiedliche Spuren der jeweiligen Strahlungsarten beobachten (s. Abb. 5) und somit die unterschiedlichen Strahlungsarten anhand ihrer Wechselwirkung mit Materie qualitativ beschreiben.

Alphastrahlung (Am-241-Präparat) führt zu charakteristischen Punkten. Die Eindringtiefen der Alpha- und Betastrahlung unterscheiden sich. Ionisierende Strahlung erzeugt Elektronen-Loch-Paare, die dann das eigentliche Bild erzeugen. Alphastrahlung wird durch auf dem Chip liegende, nicht-aktive Schichten bereits stark abgeschwächt und erzeugt stark lokale Paare. Betastrahlung kann tiefer in Materie und damit auch in

den Chip eindringen und erzeugt damit sichtbar längere Spuren im Vergleich zu den Punkten, die bei der Alphastrahlung detektiert werden. Die Anzahl der Punkte hängt dabei auch bei den anderen Experimenten von der Aktivität der verwendeten Präparate ab. Dies erklärt auch die folglich längeren Messdauern bei freiverfügbaren Präparaten wie z. B. kaliumhaltigen Düngemitteln, da diese weniger aktiv sind. Betastrahlung (Sr-90) dringt tiefer in das Material ein und kann dabei längere Spuren hinterlassen. Diese sind jedoch von dem Eintrittswinkel der Betastrahlung abhängig. Die Streuung bzw. Divergenz des Strahlenbündels führen jedoch auch bei direkter Einstrahlung aus dem verwendeten Präparat zu einer ausreichenden Häufigkeit längerer Spuren. Die unterschiedliche Länge der Spuren ist jedoch in der vergleichbaren Nebelkammer mit ähnlichen Schwierigkeiten behaftet, da ionisierende Strahlung auch hier senkrecht auf die übersättigte Dampfschicht treffen kann. Aufgrund der unterschiedlichen Energien der Betastrahlung erzeugen unterschiedliche Präparate auch unterschiedlich lange Spuren. Neben der Verwendung dieser Präparate, die Schulen unter Umständen nicht zugänglich sind, können jedoch auch andere Präparate verwendet werden. Für ein Mischpräparat aus Alpha- und Betastrahlern bieten sich Radonfolgeprodukte oder falls verfügbar thoriumhaltige Glühstrümpfe (s. Abb. 6) an. Radonfolgeprodukte können über einen unter Hochspannung stehenden Draht aus der Luft eingefangen werden und dann von diesem mit einem Taschentuch abgerieben werden. Anschließend wird das Taschentuch auf den Detektor gelegt. Ebenso sind, wenn auch mit einem höheren Zeitbedarf behaftet, kaliumhaltige Düngemittel bzw. Kaliumchlorid geeignet, um Betastrahlung abbilden zu können.



Abbildung 6: Alphastrahlung (links) führt zu eher punktförmigen Spuren. Betastrahlung (rechts) auch zu längeren Spuren.

Tabelle 1: Messung ionisierender Strahlung mit der Webkamera.

Präparat	Ereignisse	Messzeit	Zählrate pro Stunde
Hintergrund	17	11,5 h	1,9
Kaliumchlorid	10	1 h	10,0
Radonfolgeprodukte	9	1 h	9,0
Glühstrumpf (ent. Th)	28	10 min	168,0

4.2 Hintergrund & kosmische Strahlung

Ionisierende Strahlung tritt auch in unserem Alltag, der sich fernab von Materialien wie z. B. Plutonium bewegt, durch aus auf. Ein beachtlicher Anteil des natürlichen Hintergrundes ionisierender Strahlung wird dabei auch von der

Höhenstrahlung gebildet. Das Bundesamt für Strahlenschutz der Bundesrepublik beziffert den Anteil der Höhenstrahlung an der Strahlenexposition auf ca. 17 % [6]. Mit zunehmender Höhe wird diese intensiver und spielt insbesondere auch in der Raumfahrt eine wichtige Rolle bei der Betrachtung der biologischen Auswirkungen von langen Reisen im Weltraum. Der Effekt ionisierender Strahlung auf mikroelektronische Bauteile, wie bei z. B. Sonnenstürmen, lässt sich an dieser Stelle auch im Unterricht thematisieren. Die Erforschung der Höhenstrahlung bzw. die Entdeckung der Höhenstrahlung beflügelte zudem die Teilchen- bzw. Kernphysik und führte mit z. B. der Entdeckung der Myonen im Jahr 1936 zu wichtigen Ergebnissen (wie z. B. der relativistischen Zeitdilatation) [7].

Die Messung des natürlichen Hintergrundes ionisierender Strahlung ist prinzipiell auch mit dem vorgeschlagenen Aufbau möglich. Für die Messung weniger Ereignisse ist jedoch Geduld notwendig. Innerhalb von 9 Stunden konnten 17 Ereignisse gezählt werden, was einer Rate von ca. zwei pro Stunde entspricht. Doch wie lassen sich die Anforderung einer langen Messdauer mit der Durchführung innerhalb des Unterrichts zusammzuführen? Der Betrieb der Webkamera ist auch über längere Zeiten möglich und kann somit in Vorbereitung auf den Unterricht bereits präpariert sein und beispielsweise als Bild exportiert werden. Neben der vorzeitigen Durchführung des Versuches sind jedoch auch Heimversuche möglich. Hierbei kann prinzipiell jede gut verdunkelte Webkamera durch das Programm genutzt werden, sodass die Lernenden den Versuch auch mit ihren eigenen Kameras durchführen können. Ein bedeutsamer Anteil der nun detektierten Strahlung des Nulleffekts stammt auch aus der kosmischen Strahlung und hierbei den Myonen (50-80 % der kosmischen Strahlung [8], s. Abb. 7), mit denen sich aufgrund ihrer Lebensdauer im Vergleich zu künstlich erzeugten die spezielle Relativitätstheorie experimentell bestätigen ließ. Eine einfache quantitative Möglichkeit zu überprüfen, ob es sich um kosmische Strahlung handelt, lässt sich durch eine Drehung des Detektors um 90° überprüfen. Dazu untersucht man zunächst den Hintergrund mit einem zur Erdoberfläche parallelen Detektor. Damit ist

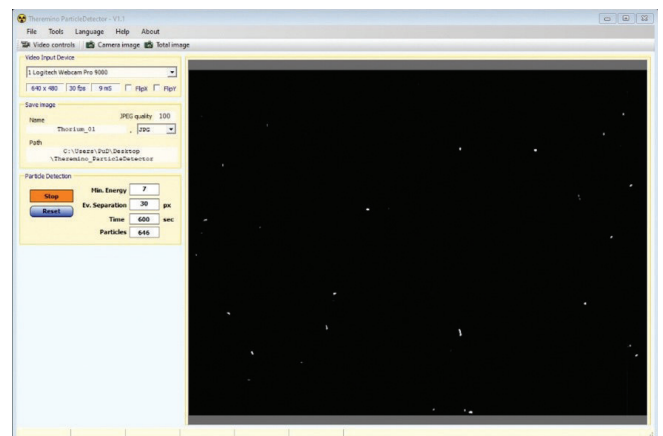


Abbildung 7: Messung eines thoriumhaltigen Glühstrumpfs über eine Dauer von 10 min. Neben den Spuren der Alphateilchen sind auch Betateilchen sichtbar, dies lässt sich auf die Zerfallsreihen zurückführen.

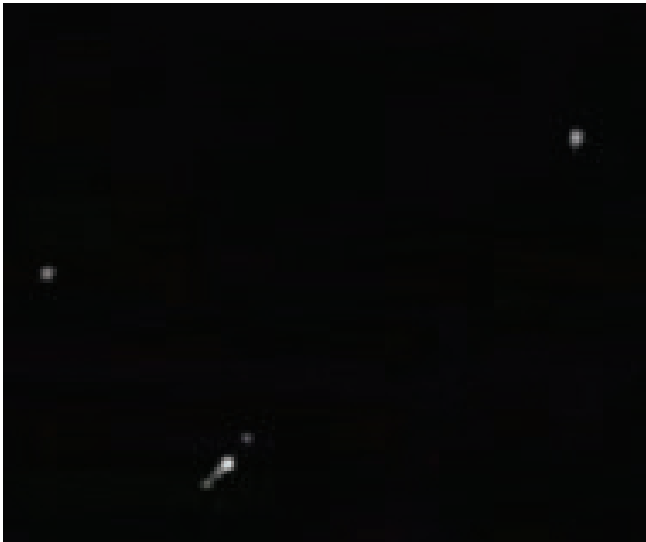


Abbildung 8: Ausschnitt aus einer Messung des Strahlenhintergrundes. Möglicherweise handelt es sich bei den langen Spuren auch um Myonen.

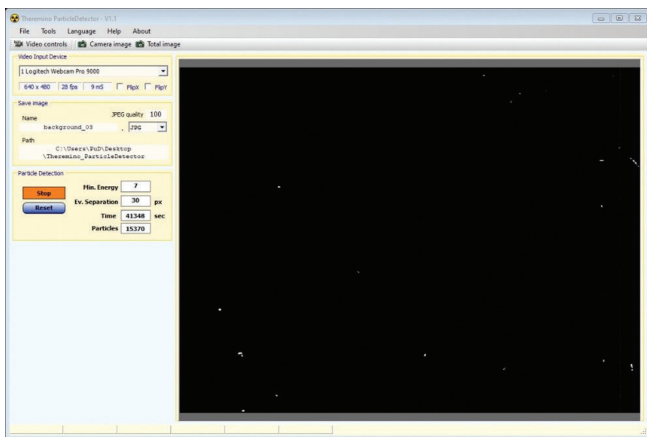


Abbildung 9: Messung des Nulleffekts über eine Dauer von 10,5 h.

die gesamte Fläche des Detektors lotrecht zu der einfallenden kosmischen Strahlung. Dreht man den Detektor nun so, dass Lot und Detektor parallel sind, verringert man die effektive Fläche des Detektors dramatisch. Durch einen visuellen Vergleich der erhaltenen Bilder und der Zählrate (die auf der Auszählung der Pixel) basiert, lässt sich so der Anteil der kosmischen Strahlung am Hintergrund zwar grob, aber elegant abschätzen. Im Vergleich zu der in Abb. 8 dargestellten Messung parallel

Literatur

- [1] Pallone A., Barnes P. Beyond detection: Nuclear physics with a webcam in an educational setting. *Physics Education* 2016; 51(5): 54001.
- [2] Becquerel H. The Radio-Activity of Matter. *Nature* 1901; 63(1634): 396-398.
- [3] Bundesamt für Strahlenschutz. Natürliche Strahlung in Deutschland; 2016, https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/naturliche-strahlung/naturliche-strahlung_node.html
- [4] Choppin G, Ekberg C, Liljenzin, J-O, Rydberg J. Radiochemistry and nuclear chemistry. Amsterdam, Heidelberg: Elsevier AP 2013.
- [5] Lappetito L. Theremino Particle Detector. Webcam Based Particle Detector, 2016. https://physicsopenlab.org/wp-content/uploads/2021/07/Theremino_ParticleDetector_1.1.zip
- [6] Neddermeyer SH, Anderson CD. Note on the Nature of Cosmic-Ray Particles. *Phys. Rev.* 1937; 51(10): 884-886.
- [7] Osram Opto Semiconductors. BPX 61, 2020. https://dammedia.osram.info/media/resource/hires/osram-dam-5488328/BPX%2061_EN.pdf
- [8] Physicsopenlab. Webcam Particle Detector Measurements – PhysicsOpenLab, 2016. <https://physicsopenlab.org/2016/05/22/webcam-particle-detector-measurements/>

zum Erdboden, verringert sich die Zählrate beim Verkippen der Kamera um 50 % auf ca. ein Ereignis pro Stunde.

5. Ausblick

Viele Themen der modernen Physik lassen sich im Rahmen des Unterrichts nur noch schwer durchführen. Hier lässt sich allerdings auch mit einfachen Mitteln die ionisierende Strahlung um uns herum und sogar aus dem Weltraum mit einer einfachen Webkamera kostengünstig aufzeichnen. Mit Radonfolgeprodukten sind Mischpräparate mit unterschiedlichen Arten ionisierender Strahlung auch im Klassenzimmer nutzbar und bieten dabei auch einen spannenden Einblick in die Funktionsweise von digitalen Kameras. Alphastrahlung führt dabei zu charakteristischen Punkten und Betastrahlung zu längeren Spuren. Eine Betrachtung der kosmischen Strahlung bzw. eine Thematisierung von kosmischen Teilchen lässt sich auch mit den dargestellten Experimenten thematisieren. Typische natürliche Strahlungsquellen lassen eine interessante Datenerhebung zu und geben dabei einen Einblick in die Wechselwirkung ionisierender Strahlung mit Materie. Eine Einbindung in den Unterricht lässt sich auch durch Wiederaufgreifen historischer Experimente erreichen.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen der gemeinsamen Qualitätsinitiative Lehrerbildung von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Projekt „Lehrerbildung PLUS“ (Förderkennzeichen 01JA1907A) unterstützt. Vielen Dank an das „Theremino System Team“ für die Programmierung und die großzügige Lizenz.

Axel-Thilo Prokop ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am 5. Physikalischen Institut, Abteilung Physik und ihre Didaktik an der Universität Stuttgart und unterrichtet Physik am Fanny-Leicht-Gymnasium, Stuttgart-Vaihingen.

Ronny Nawrodt ist Professor für Physik und ihre Didaktik an der Universität Stuttgart und unterrichtet Physik am Fanny-Leicht-Gymnasium, Stuttgart-Vaihingen.

Radioaktivität und Zufall – eine forschungsbasierte Unterrichtskonzeption

Alexandra Jansky und Martin Hopf

1. Einführung

Man könnte meinen, Radioaktivität ist nur ein Randthema im Physikunterricht. Oft wird am Ende des Schuljahres noch ein wenig Zeit für dieses Thema verwendet. Aber das ist wirklich schade. Nicht nur hat Radioaktivität eine hohe Bedeutung für die naturwissenschaftliche Grundbildung der Jugendlichen. Man denke hier beispielsweise an die Bedeutung von Schutzmaßnahmen gegen Radonbelastung in vielen Gegenden Österreichs oder an die Radioaktivität von Tabak. Auch gesellschaftlich ist Radioaktivität nach wie vor von Bedeutung.

Daneben bietet Physikunterricht zum Thema Radioaktivität eine fast einzigartige Gelegenheit: An kaum einer anderen Stelle des Unterrichts in der Sekundarstufe I kann der Zusammenhang zwischen Zufall und Gesetz so gut bearbeitet werden wie hier. Der vorliegende Artikel stellt dazu – nach der Diskussion des Forschungsstandes zum Lernen der Radioaktivität – eine empirisch fundierte Unterrichtskonzeption vor.

2. Lernendenvorstellungen zur Radioaktivität

Es lohnt immer, sich zunächst damit zu beschäftigen, welche Vorstellungen Schüler*innen zum Thema Radioaktivität äußern. Dabei zeigt die fachdidaktische Forschung einige interessante Aspekte auf [1-3]. Zunächst muss man sich bewusst machen, dass Schüler*innen ein vergleichsweise verzerrtes Bild von Radioaktivität haben. Bekannt ist sie aus Fernsehserien (Simpsons), Filmen oder Computerspielen. Manchmal kommt sie auch in Nachrichten vor, aber in der Regel nur bei Störungen in Kernkraftwerken oder im Zusammenhang mit der Kontrolle nuklearer Waffen. Dass wir hingegen ständig in einem Bad natürlicher Radioaktivität leben bzw. dass wir Radioaktivität für technische und medizinische Zwecke nutzbringend verwenden, ist nicht Bestandteil der Lebenswelt der Kinder und Jugendlichen. Man beobachtet außerdem, dass die Gefährlichkeit ionisierender Strahlung je nach Herkunft sehr unterschiedlich bewertet wird. Immer wieder wird berichtet, dass Schüler*innen davon ausgehen, dass für medizinische Zwecke verwendete Strahlung ungefährlich (oder zumindest deutlich harmloser als andere) sei („Es wird vom Arzt verwendet, das ist nicht gefährlich“). Auch wird natürliche Strahlung als deutlich weniger gefährlich angesehen als „künstlich erzeugte“.

Ein weiteres Problem besteht in der Unklarheit der Verwendung der Begrifflichkeiten „Strahlung“ wird sehr unterschiedlich verwendet. Schüler*innen verstehen darunter alle Teile des elektromagnetischen Spektrums genauso wie Teilchenstrahl-

ungen. Wir empfehlen daher, immer genau zu spezifizieren, ob über Sonnenstrahlung, UV-Strahlung oder Radio-Strahlung gesprochen wird oder ob es um ionisierende Strahlung geht. Letztere umfasst dabei die aus Kernumwandlung stammenden Strahlungen, aber auch durch Anregung (der Elektronen) erzeugte ionisierte Strahlung, wie Röntgenstrahlung. Ein zweiter Aspekt ist, dass nach wie vor der physikalisch extrem missverständliche Begriff „radioaktive Strahlung“ in Verwendung ist – und zwar leider nicht nur in den Medien, sondern auch im Physikunterricht. Zur Erinnerung: Es gibt radioaktive Strahlung, z. B. wenn man einen Strahl aus C14-Atomen präpariert. Wir empfehlen aber nachdrücklich, NICHT mehr von „radioaktiver Strahlung“ zu sprechen, wenn es um ionisierende Strahlung aus Atomkernen geht. Stattdessen kann entweder gleich der Begriff „ionisierende Strahlung“ verwendet werden oder man behilft sich mit „Kernstrahlung“.

Nicht wundern sollte dann, dass Schüler*innen Schwierigkeiten haben, den Charakter ionisierender Strahlung zu erkennen. Oft vermuten sie, dass es sich dabei immer – auch bei elektromagnetischen Sorten – um (in der Luft schwebende) Objekte handelt. So halten selbst medizinisch ausgebildete Personen die Lüftungen in Röntgenuntersuchungsräumen für notwendig, damit sich die Röntgenstrahlung nicht darin ansammelt. Und ein wesentliches Problem im Unterricht zur Radioaktivität besteht darin, dass davon ausgegangen wird, dass sich „radioaktive Strahlung“ im bestrahlten Körper ansammelt, da sich ja die oben genannten radioaktiven Objekte auf dem bestrahlten Körper ablagern. So wird dieser „verstrahlt“. Diese Verwechslung von Bestrahlung und von Kontamination ist sehr häufig. Und natürlich würde man davon ausgehen, dass radioaktive Strahlung selbst radioaktiv ist, oder? Vermutlich sind auch wir selbst davon nicht frei. Oder: Würden Sie den Apfel auf dem Titelbild essen? Auch wenn er mit Gammastrahlung bestrahlt wurde?

Eine Reihe von Vorstellungen gibt es auch zum radioaktiven Zerfall selbst. Jugendliche denken dabei manchmal, dass sich ein Atomkern bei einem Zerfall immer weiter verkleinert und schließlich auflöst. Der Zerfall wird daneben oft als kontinuierlicher Prozess gesehen. Jugendliche denken dann, dass ein zerfallender Atomkern kontinuierlich Strahlung abgibt, bis er schließlich vollständig zerfallen ist. Fragt man z. B., was man sieht, wenn man einen einzelnen Kern nach einer Halbwertszeit beobachtet, so erhält man als Antwort, dass dann noch ein halber Kern zu sehen sei. Andere Vorstellungen zur Halbwertszeit sind, dass dann die Hälfte der Strahlung verloren ist. Schüler*innen ist oft auch nicht klar, dass es sich

beim Zerfall um einen Umwandlungsprozess handelt und die Kerne dabei natürlich nicht verschwinden. Auch hier handelt es sich wieder um eine nicht ganz saubere Begrifflichkeit während des Physikunterrichts. Wir empfehlen hier, das explizit zu thematisieren und den Lernenden mitzuteilen, dass oft „Zerfall“ gesagt wird, wenn eine Umwandlung gemeint ist. Es ist nicht realistisch, den Begriff Zerfall aus dem Physikunterricht zu verbannen. Eine andere Vorstellung von Jugendlichen ist, dass Atome am wahrscheinlichsten zum Zeitpunkt der Halbwertszeit zerfallen.

3. Lernschwierigkeiten zu zufälligen Prozessen

Eine besondere Schwierigkeit beim Lernen der Radioaktivität ist der Zufall. Dass der Zerfall eines einzelnen Kerns völlig zufällig zu einem nicht vorhersehbaren Zeitpunkt stattfindet und trotzdem Aussagen über Gesetzmäßigkeiten gemacht werden können, ist für viele Lernenden kaum einsichtig. Dass das Verhalten eines einzelnen Objekts (z. B. hier eines radioaktiven Kerns) unvorhersehbar, aber dennoch das Verhalten einer Menge identischer Objekte (also hier einer radioaktiven Probe mit sehr, sehr vielen radioaktiven Kernen) modellierbar ist, ist ja ein typisches Phänomen in der Physik. Für Schüler*innen ist das aber schwer nachvollziehbar. Besonders folgende beiden Vorstellungen konnten hier immer wieder gefunden werden [2]: Zum einen gehen Lernende oft davon aus, dass es in der Physik überhaupt keinen Zufall gibt. Sie argumentieren, dass ein Würfelwurf durchaus vorhergesagt werden könne, wenn alle Parameter bekannt seien. Zufall wird dann lediglich als ein Produkt von Unwissenheit aufgefasst. Diese Auffassung ist auch unter Physiker*innen zu finden. Die Ergebnisse der Quantenphysik belegen aber, dass es wirklichen Zufall in der Physik gibt. In der Schule muss man hier in der Regel ein wenig diskutieren. Nach unserer Erfahrung kann man sich aber in der Regel mit Lernenden darauf einigen, dass ein Würfelwurf hinreichend zufällig ist. Daneben ist aus Sicht der Schüler*innen Zufall und Gesetzmäßigkeit nicht vereinbar. Für sie gilt: Wenn etwas zufällig ist, entzieht es sich jeder gesetzmäßigen Beschreibung und umgekehrt.

Eine weitere Lernschwierigkeit besteht darin, dass viele – aus Sicht der Physik zufällige Ereignisse – von Jugendlichen nicht als solche aufgefasst werden. So denken Schüler*innen z. B., dass das Werfen mit einem gezinkten Würfel nicht zufällig sei [2]. Für sie muss ein zufälliges Ereignis immer gleichverteilte Möglichkeiten haben, sonst ist es nicht zufällig. In der fachdidaktischen Forschung hat sich auch gezeigt, dass Schüler*innen besondere Schwierigkeit mit kontinuierlichen Zufallsvariablen haben [2]. Das betrifft sowohl ortsabhängige Zufallsvariablen wie „Wo wird der nächste Regentropfen hin treffen?“ als auch zeitabhängige („Wann wird an einem festen Ort der nächste Regentropfen auftreffen?“). Für Unterricht zur Radioaktivität stellt das eine besondere Herausforderung dar.

4. Eine Unterrichtskonzeption zur Radioaktivität

Um diesen Lernschwierigkeiten zu begegnen, hat Jansky im Rahmen ihrer Dissertation eine Unterrichtskonzeption zur Radioaktivität erprobt und evaluiert [2]. Dabei wird besonderer Wert darauf gelegt, dass Schüler*innen den zufälligen Charakter des radioaktiven Zerfalls verstehen und erkennen, dass es auch dann Gesetzmäßigkeiten geben kann. Im Wesentlichen geht es also um Zerfall und Halbwertszeit (s. Abb. 1). Andere Aspekte wie z. B. Strahlungsarten oder Kernspaltung wurden nicht in dieser Konzeption behandelt, können aber leicht ergänzt werden, wenn solche Aspekte diskutiert werden sollen.



Abb. 1: Abfolge der Themen in der Unterrichtskonzeption „Zufall und Radioaktivität“

4.1 Gesetz der großen Zahlen

Im ersten Schritt der Konzeption wird den Schüler*innen das Gesetz der großen Zahlen vermittelt. Dazu wird zunächst vorgestellt, wie man mit zufälligen Ereignissen umgehen kann. Dazu werden Würfel verwendet, da Jugendliche leicht einsehen, dass Würfeln einer Zahl zwischen 1 und 6 zufällig ist. Mit einzelnen Lernenden muss man zwar manchmal darüber diskutieren, dass der Würfelwurf auch genau berechnet werden könnte, wenn alle Anfangsbedingungen bekannt sind. Aber auch dann kann man sich darauf einigen, das Würfeln als zufälligen Prozess aufzufassen. Das Würfeln wird nun als Zufallsexperiment eingeführt. Danach wird besprochen, was bei vielen Wiederholungen eines Zufallsexperiments passiert. Daraus wird das Gesetz der großen Zahlen abgeleitet: „Wenn du sehr oft hintereinander würfelst und notierst, wie oft welche Zahl erscheint, bekommst du eine Verteilung. Während bei einem einzelnen Wurf nicht vorhersagbar ist, auf welcher Zahl der Würfel landet, sieht so eine Verteilung (mit genügend Wiederholungen) immer gleich aus.“ [4, S. 2] So kann dann die Wahrscheinlichkeit für einen Würfelwurf (Wahrscheinlichkeit pro Wurf) festgelegt werden. Man sollte an dieser Stelle ausführlich besprechen, dass ein Wurf zufällig ist, aber trotzdem die Wahrscheinlichkeitsverteilung immer gleich aussehen wird. Man kann also aus zufälligen Ereignissen trotzdem Gesetzmäßigkeiten ableiten. Da diese Idee für Schüler*innen sehr schwierig zu akzeptieren ist, sollte ausreichend Zeit investiert werden.

Ein weiterer wichtiger Lernschritt besteht darin zu akzeptieren, dass es auch Zufallsexperimente gibt, die nicht gleichverteilt sind. Einfach durchzuführen ist hier das „Würfeln“ mit Reißnägeln (s. Abb. 2). Es gibt hier zwei mögliche Ausgänge des Zufallsexperiments. Beide sind aber nicht gleich wahrscheinlich. Alternativ können hier beliebige andere „Würfel“ verwendet werden [5]. Das Werfen mit Münzen hat sich in den Untersuchungen von Jansky als nicht lernförderlich erwiesen.



Abb. 2: Würfeln mit Reißnägeln. Wir empfehlen, nur Reißnägel mit einer Farbe zu verwenden.

4.2 Zeitabhängige Zufallsvariablen

Im nächsten Schritt der Unterrichtskonzeption geht es um die Untersuchung von kontinuierlichen Zufallsvariablen. Insbesondere sollen zufällige, zeitabhängige Ereignisse modelliert werden. Wie oben besprochen, ist das für Jugendliche besonders schwierig zu erlernen. Leider gibt es dafür auch nur wenige Alltagsbeispiele, die Schüler*innen wirklich als zufällig bewerten. Jansky hat dafür Springblobbs (auch „Popper“, „Plop Up“ oder „Springscheibe“) verwendet (s. Abb. 3). Ein Springblobb wird umgestülpt und dann auf eine ebene Fläche gesetzt. Nach einer gewissen, aber zufälligen Zeit springt der Springblobb nach oben. Wann das passieren wird, ist aber nicht vorherzusagen. (Natürlich ist auch das Verhalten des Springblobbs deterministisch. Aber für den Alltagsgebrauch kann man sich gut mit den Schüler*innen darauf einigen, dass er sich zufällig verhält.)



Abb. 3: Springblobbs

Nun versucht man gemeinsam, eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Springen des Springblobbs zu finden. Es ist für die Lernenden klar erkennbar, dass dann nicht mehr eine Wahrscheinlichkeit pro Wurf, sondern eine Wahrscheinlichkeit für ein Zeitintervall angegeben werden muss. So kann die Wahrscheinlichkeit angegeben werden, mit der der Springblobb im nächsten Zeitintervall springen wird.

Jansky empfiehlt, bereits hier eine Vorübung zur Halbwertszeit einzusetzen: „Stell dir vor, du hast 10.000 Springblobbs mit der Sprungwahrscheinlichkeit 8/100 pro Sekunde. Wie viele Springblobbs sind nach dem Zeitintervall 1 bis 5 Sekunden noch nicht gesprungen?“ [4, S. 5].

4.3 Stabile und instabile Atomkerne

Nun werden die bisherigen Erkenntnisse auf das Verhalten instabiler Atomkerne angewendet. Zunächst wird dabei ein einzelner Atomkern betrachtet. Den Schüler*innen wird mitgeteilt, dass es manche Atomkerne gibt, die aufgrund ihrer

inneren Struktur instabil sind. Ein solcher Atomkern verhält sich dann genau so wie der Springblobb. Ein umgestülpter Springblobb ist instabil. Zu einem zufälligen Zeitpunkt springt er und ist danach stabil. Den Jugendlichen wird erklärt, dass es sich beim „Zerfall“ eines instabilen Atomkerns um folgenden Vorgang handelt: „Ein Atomkern geht unter Aussendung eines Teilchens in einen stabilen Zustand über.“ Es wird hier auch betont, dass „zerfallen“ eigentlich der falsche Ausdruck ist und Umwandlung eine bessere Beschreibung des Vorgangs ist. Hinweis: Auch auf Zerfallsketten wird nicht eingegangen, es ist jedoch leicht ergänzbar, wenn Jugendliche diesen einfachen Fall verstanden haben.

Es wird dann die „Zerfallswahrscheinlichkeit“ eingeführt: „Es wandelt sich ein instabiler Atomkern einmal um und ist danach stabil, so wie bei den Springblobbs. Die Sprungwahrscheinlichkeit pro Zeit wird nun Zerfallswahrscheinlichkeit genannt, also eine Wahrscheinlichkeit, dass sich ein instabiler Atomkern in einem Zeitintervall umwandelt. Diese Wahrscheinlichkeit ist für Atome desselben Elements immer gleich – sie ist eine Naturkonstante.“ [5, S. 6]. Es ist sinnvoll, diese Überlegung einzuüben und dann auch auf das Verhalten vieler Kerne anzuwenden.

4.4 Halbwertszeit

Abschließend geht es um die Halbwertszeit. Zunächst werden wieder diskrete Ereignisse betrachtet, bewährt hat sich das Würfeln einer größeren Zahl von Reißnägeln. Es wird aber eine Variante verwendet, die näher am radioaktiven Zerfall ist: Man sagt, dass ein Reißnagel, der auf der flachen Seite liegen bleibt, „stabil“ ist. Solche Reißnägel werden liegen gelassen. Mit den „instabilen“ Reißnägeln wird erneut gewürfelt. Das wird wiederholt, bis die Hälfte der Reißnägel stabil ist und es wird die „Halbwertszeit“ bestimmt, also die Anzahl der Würfe, die durchgeführt werden, musste, bis die Hälfte der Reißnägel zerfallen war.

Die Springblobbs werden danach eingesetzt, um das Konzept der Halbwertszeit auf zeitabhängige Vorgänge zu übertragen. Leider ist es schwierig, mehrere hundert Springblobbs gleichzeitig zu starten, selbst wenn alle Lernenden einer Klasse mitarbeiten. Dennoch empfehlen wir, so viele (gleiche) Springblobbs wie möglich gleichzeitig zu starten. Dazu kann man die Lernenden um Mithilfe bitten. Alternativ kann man auch eine Anordnung dafür bauen. Eine Bauanleitung für die Startvorrichtung findet man im Kasten.

Für Schüler*innen ist es nun leicht einsichtig, dass sich Atomkerne wie die Springblobbs verhalten. Gelernt wird an dieser Stelle, dass man vorhersagen kann, „wie viele instabile Atomkerne eines Elements sich in einem Zeitintervall umwandeln werden. Die Zeit, wann sich ein bestimmter Atomkern umwandelt, ist nicht vorhersagbar. Mit genügend vielen instabilen Atomkernen kann man die Halbwertszeit bestimmen. Sie gibt an, wann sich die Hälfte der instabilen Atomkerne um-

gewandelt haben.“ [2, S. 116] Empfehlenswert ist es nun, diese Erkenntnisse an verschiedenen Beispielen einzuüben.

5. Forschungsergebnisse

Diese Unterrichtskonzeption wurde im Rahmen der Dissertation von Jansky sorgfältig untersucht. In mehreren Runden von Akzeptanzbefragungen wurden schwierige Stellen im Lernprozess identifiziert und für die jeweils nächste Interviewrunde verändert. Die hier vorgestellte Version hat sich in den Befragungen als sehr gut verständlich erwiesen und wir empfehlen den Einsatz im Unterricht. Besonders gut gelingt die Vermittlung, dass der radioaktive Zerfall ein zufälliger Vorgang ist, man aber dennoch Gesetzmäßigkeiten formulieren kann.

Die didaktische Brücke von den Reißnägeln über die Springblobbs zum radioaktiven Zerfall hat sich dabei bewährt. Eine detaillierte Version der Unterrichtskonzeption ist online verfügbar [4].

Alexandra Jansky hat am CERN und der Universität

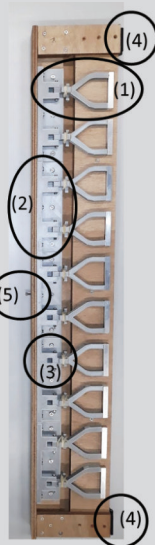
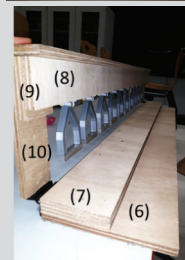
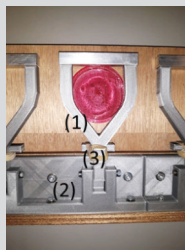
Wien über die Rollen von Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall im naturwissenschaftlichen Kontext promoviert. Jetzt arbeitet sie an der FH Bern

Martin Hopf ist Obmann des Vereins zur

Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts und Universitätsprofessor für Didaktik der Physik an der Universität Wien.

Kasten: Bauanleitung Startvorrichtung

Die Startvorrichtung besteht aus einer Basis aus Sperrholzplatten und 3D gedruckten Elementen. Um eine Startvorrichtung für zehn Springblobbs zu bauen, benötigt man:



- (1) 10 x 3D gedrucktes Y
- (2) 5 3D gedruckte Halterung
- (3) 10 Gummiband
- (4) 2 Scharniere
- (5) 1 Verschlusschraube
- (6) 1 Große Sperrholzplatte (ca. 100x20 cm)
- (7) 2 kleine Sperrholzplatten unten (ca 100x10 cm)
- (8) 2 kleine Sperrholzplatten oben (ca. 100x7 cm)
- (9) Zwei zusätzliche Sperrholzplatten (10x10 cm)
- (10) 2 Verbindungsplatten (ca 20x10cm)

Außerdem:

- (1) 10 Schrauben mit Muttern zum Befestigen der Y's an die Halterung (2)
- (2) 30 Schrauben zur Befestigung der Halterung (2)
- (3) Schrauben zur Befestigung der Scharniere
- (4) Schrauben oder Klebstoff zur Verbindung der Sperrholzplatten

Zunächst werden die zwei kleinen Sperrholzplatten unten (7) zusammengeklebt und längs auf die große Sperrholzplatte (6) geklebt. Die große Sperrholzplatte hat nun in der Mitte eine Stufe (siehe dazu auch die Abbildung). Diese Platten bilden den unteren Teil der Startvorrichtung.

Auf eine der kleinen Sperrholzplatten oben (8) werden nun links und rechts jeweils eine zusätzliche Sperrholzplatte (9) geklebt. (Liegt die kleine Sperrholzplatte oben in die in die Vertiefung des unteren Teils der Vorrichtung, sollten die zusätzlichen Sperrholzplatten genau mit der kleinen Sperrholzplatte unten schließen.) Auf die zusätzlichen Sperrholzplatten werden nun die Verbindungsplatten geklebt. Seitlich wird nun die zweite kleine Sperrholzplatte oben (8) geklebt, so dass man die Halterungen (2) daran befestigen kann. Nun werden die Halterungen (2) auf die zusammengeklebten kleinen Sperrholzplatten oben (8) geschraubt. Danach werden die Y's (1) in den Halterungen mittels Schrauben und Mutter befestigt, so dass man die Y's noch bewegen kann. Am Ende werden die Gummibänder so zwischen Y's und Halterung so fest wie möglich gespannt.

Literatur

- [1] Hull M, Jansky A, Hopf, M. Radioactivity, Radiation, and Particle Physics in General, International Handbook of Physics Teaching 2023.
- [2] Jansky, A. Die Rolle von Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall im naturwissenschaftlichen Kontext, Dissertation Universität Wien 2019.
- [3] Hopf M, Schecker H. Schülervorstellungen zu fortgeschrittenen Themen der Schulphysik, Schülervorstellungen und Physikunterricht 2018: 225-242.
- [4] Jansky, A. Einführung von Radioaktivität mittels Wahrscheinlichkeitsrechnung, Unterrichtsmaterial 2020. Online auf <https://aeccp.univie.ac.at/lehrer-innen/unterrichtskonzeptionen>.
- [5] Hull MM, Hopf M. Vor- und Nachteile gängiger Analogien in der Radioaktivität. Im vorliegenden Heft.

Ein neues Experiment zu den Grundlagen des Lasers „Fluoreszenzabklingen eines metastabilen Laserniveaus und Rubin Spektroskopie“

Ilja Rückmann

Das neue Quantenoptik-Schulexperiment nutzt das Drei-Niveau-Lasermaterial Rubin. Rubin hat zwei Absorptionsbanden im nahen UV und im Grünen. Beide sind spektral breit und gut mit LEDs anzuregen. Die schnelle Entleerung beider Pumpniveaus erfolgt in ein metastabiles Niveau, das bei genauem Hinschauen aus zwei eng benachbarten Niveaus besteht. Das metastabile Niveau ist Voraussetzung für die Erzeugung einer Besetzungsinversion und somit für den Laserübergang (694 nm) zum Grundzustand.

Die Lebensdauer des metastabilen Niveaus beträgt etwa 3,5 ms und ist daher mit jedem Schuloszilloskop messbar. Die Anregung erfolgt mit Rechteck-gepulsten LEDs (405 nm bzw. 530 nm) mit einstellbarem Tastverhältnis. Die Bilanzgleichungen für das vereinfachte Rubin-Energieniveauschema entsprechen den Gleichungen für das Laden und Entladen eines Kondensators. Die Ausgleichsvorgänge sind sehr gut registrierbar und die Zeitkonstanten des An- und Abklingens der Fluoreszenz sind z. B. aus den Halbwertszeiten bestimmbar. Daraus ergibt sich sofort der Einstein-Koeffizient der spontanen Emission.

Als Vergleich werden anstelle des Rubins auch andere Stoffe (z. B. eingefärbtes Acrylglas, Papier, ...) mit den UV-Pulsen angeregt. Deren sehr viel schnellere Fluoreszenz erfolgt im benutzten Anregungsregime quasi instantan. Daraus wird er-

sichtlich, dass die Rubinfluoreszenz etwas Besonderes ist und was ein metastabiles Niveau auszeichnet.

Im zweiten Versuchsteil wird ein einfaches Spektrometer genutzt. Zuerst wird das Spektrum einer weißen LED mit der Webcam auf einem Laptop betrachtet. Die Einflüsse von Filtern, Eintrittsspalten und Gitterstrichzahlen werden untersucht. Danach wird das Transmissionsspektrum der Rubinkugel betrachtet, bei dem deutlich beide Absorptionsbanden sichtbar werden. Bei Anregung der Rubinkugel mit 405 nm werden die rote Rubinlumineszenz und Reste der Anregung beobachtet, woraus die Lumineszenzwellenlänge abgeschätzt wird.

Die fachlichen Voraussetzungen zum Verstehen des Experiments sind in der gymnasialen Oberschule gegeben. Wissen aus verschiedenen Gebieten der Physik wie z. B. Struktur der Materie, Atommodell, Energiequantelung bei Absorption und Emission, Entladung eines Kondensators, ... muss vernetzt und angewendet werden. Der Laser wird bisher in der Schule mit seinen Voraussetzungen (Pumpe, Besetzungsinversion, Resonator) nur theoretisch besprochen.

Unser neuer Schulversuch wurde u. a. auf dem 11. Experimental-Workshop an der PH Salzburg im Juni 2022 vorgestellt.

Ilja Rückmann *WEH-Seniorprofessor, Uni Bremen*

Radioaktivität untersuchen

Adaptierung eines erprobten Konzepts für österreichische Schulen

Michael M. Hull und Marco Klestil

1. Einführung

„Inquiry into Radioactivity“ (IiR) ist ein Unterrichtskonzept zur Radioaktivität, der an einer amerikanischen Universität entwickelt wurde [1]. Im vorliegenden Beitrag beschreiben wir dieses Unterrichtskonzept und die Adaption für österreichische Schulen.

2. Inquiry into Radioactivity (IiR)

Forschung zum Lernen der Themen Kernphysik und Strahlung zeigt wesentliche Unterschiede zwischen dem Denken der Lernenden und den Zielen des traditionellen Unterrichts auf [2]. Schüler*innen fällt es schwer, zwischen Strahlung und Quelle zu unterscheiden. Sie ordnen sowohl der Strahlung als auch der Quelle substanzähnliche Eigenschaften zu (es ist alles derselbe „schlechte“ Stoff). Sie stellen sich z. B. vor, dass wenn Strahlung Gegenstände trifft, die nicht radioaktiv sind, eine „Strahlungssubstanz“ am Gegenstand haften bleibt, welche diesen radioaktiv macht.

Das IiR Unterrichtskonzept besteht aus vier Einheiten („Cycles“) die sich mit unterschiedlichen Themen beschäftigen. In Cycle 1 führen Lernende Experimente durch, aus denen sie die grundsätzlichen Eigenschaften der ionisierenden Strahlung ableiten. Cycle 2 stellt die Idee vor, dass Atome Quellen der Strahlung sein können. Cycle 3 beschäftigt sich mit der Wechselwirkung von Strahlung mit Materie inklusive des menschlichen Körpers. In Cycle 4 geht es um Kernenergie, radioaktive Abfälle von Kernkraftwerken und Halbwertszeiten. IiR wurde entwickelt, um den Lernprozess der Lernenden zu fördern. Eine große Herausforderung stellen dabei die oftmals falschen Vorstellungen der Lernenden dar. IiR wurde in vielen Entwicklungszyklen optimiert: Stets wurden in Neuversionen von IiR bis dahin beobachtete Lernschwierigkeiten berücksichtigt. In diesem Beitrag präsentieren wir Ausschnitte von drei übersetzten und verkürzten Aufgaben aus Cycle 1, in denen Lernende Experimente durchführen, anhand derer sie die grundsätzlichen Eigenschaften ionisierender Strahlung ableiten können. Adaptierte Aufgaben für eine einstündige Physikeinheit sind online verfügbar [3].

In Aufgabe 1 beobachten Schüler*innen, dass 1) ein Geiger-Müller Zählrohr (GMZ) unterschiedliche Werte misst, obwohl dasselbe Objekt untersucht wird, und 2) es Objekte gibt, die deutlich mehr Strahlung aussenden als andere (Kasten 1)

Kasten 1: Auszug aus IiR. Links sind im Online-Dokument funktionsfähig.

(Portionen von) Radioaktivität Aufgabe 1 Messungen mit den Geiger-Müller-Zählrohr Teil 1: „Klicks“ Zählen

1. Du findest hier die Links zu zwei 1 Minuten langen Videos, die nacheinander in einem Raum aufgenommen wurden, der mit eurem Klassenzimmer vergleichbar ist. Zähle die Klicks für beide Videos und schreibe die Anzahl der gehörten „Klicks“ in die untere Tabelle.
2. Ist die Anzahl der Klicks in beiden Videos gleich? Wenn nicht, dann überlege dir, warum das so ist und schreibe es auf!
3. In der folgenden Tabelle siehst du eine 10-minütige Messung von demselben Raum. Nach jeder Minute wurden die Klicks notiert. Vergleiche diese Werte mit dem, was du zuvor herausgefunden hast. Sind die Werte gleich? Oder variieren sie? Beschreibe, was du beobachtet hast!

Minute	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Klicks	17	19	20	16	17	18	16	18	20	15

5. Wie würdest du beschreiben, was du herausgefunden hast? Tritt Radioaktivität immer gleich häufig auf? Wenn nicht, wie würdest du das Zeitintervall zwischen den Klicks beschreiben?

Teil 2: Nach radioaktiven Quellen suchen

6. Jetzt wollen wir herausfinden, ob es Objekte gibt, die radioaktiver sind als andere. Schau dir die zwei Videos an, die dir zugeteilt wurden, und zähle die Klicks und vergleiche die Anzahl.
7. Gibt es Objekte, die mehr klicken, als zuvor in Teil 1 beobachtet? Welche Objekte sind das und was bedeutet das? (Falls du danach noch Zeit hast, kannst du als Bonusaufgabe herausfinden, welches Objekt in der obigen Tabelle am meisten klickt.)

Diese zwei Punkte dienen als Begründung für Aufgabe 2, in denen Schüler*innen die Radioaktivität eines Objekts beschreiben sollen. Hier ziehen die Schüler*innen den Schluss, dass Zufälligkeit bei Messungen von Radioaktivität eine Rolle spielt. Trotzdem entwickeln sie eine Regel, mit der sie erkennen können, ob ein gewisses Objekt radioaktiver ist als ein anderes. (Kasten 2)

Kasten 2: Auszug aus IiR

(Portionen von) Radioaktivität Aufgabe 2 Die Veränderlichkeit der Strahlung

...
In eurer letzten Einheit habt ihr Videos einer einminütigen Messung dieser Hintergrundstrahlung durch das Geiger-Müller-Zählrohr beobachten können. Im Folgenden wurde diese Hintergrundstrahlung über etwa 2 Tage in einem leeren, zugesperrten Raum ähnlich zu eurem Klassenzimmer gemessen (der Raum blieb unverändert). Das folgende Diagramm zeigt die Anzahl an Klicks, die im jeweiligen Intervall von 1 Minute gemessen wurden. Um das Diagramm etwas übersichtlicher zu gestalten, wurden nur die ersten 100 Minuten, also etwa 1,5 Stunden abgebildet.

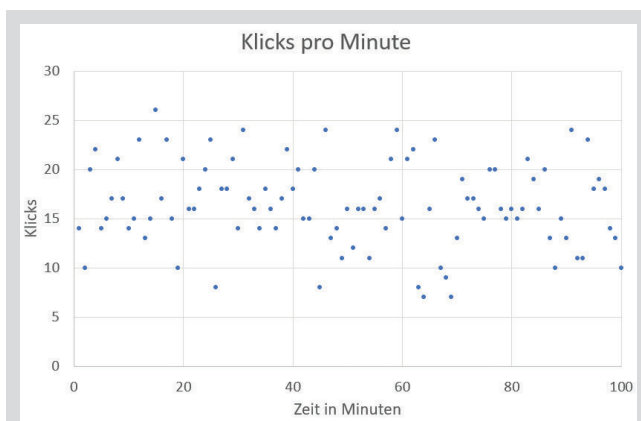


Abbildung 1: Messung pro Minute. Zur besseren Übersicht sind nur die ersten 100 Minuten abgebildet

4. Schaut euch das Diagramm genau an. Was war die höchste Anzahl an Klicks, die in einem der 1-Minuten-Intervalle vorgekommen ist?
- ...
11. Ihr seht, dass starke Klick-Schwankungen (große Unterschiede zwischen den Messwerten) für die einzelnen 1-Minuten-Zeitintervalle bestehen. Gibt es eine Ursache dafür?
12. Wie können wir entscheiden, ob zwei unterschiedliche Messungen von Radioaktivität von merklich unterschiedlichen Situationen stammen, oder ob die Ursache der unterschiedlichen Messergebnisse die Streuung der gemessenen Strahlung ist?

Diese Regel wird in Aufgabe 3 verwendet, in der die Lernenden die Radioaktivität von einem Objekt sowohl vor- als auch nach einer Bestrahlung messen sollen. Die Schüler*innen finden heraus, dass die Radioaktivität des Objekts vor und nach der Bestrahlung gleich ist. Dieses Ergebnis ist der Beleg dafür, dass ihre Vorstellung von einer „Strahlungssubstanz“ falsch ist. Außerdem vergleichen die Schüler*innen die Radioaktivitätsmessungen mit anderen Messungen von Quellen anderen Strahlungsarten, um Begriffe wie „Strahlung“ und „Quelle“ besser trennen zu können (Kasten 3).

3. Was braucht man dazu?

Für die erste Aufgabe wird die Klasse idealerweise in Gruppen bestehend aus je vier Schüler*innen aufgeteilt. Jede Gruppe erhält ein GMZ (Geiger Müller Zählrohr). Mit dem GMZ sollen die Schüler*innen sowohl Objekte, die sie als „künstlich“ betrachten (z. B. ein Handy), als auch „natürliche“ Objekte (z. B. Steine) messen. Sowohl die „künstliche“ als auch die „natürliche“ Sammlung sollte auch Objekte inkludieren, die eine deutlich größere Häufigkeit an Klicks beim GMZ herbeiführen als vergleichsweise die Luft im Klassenzimmer (z. B. ein Columbit Stein, ein Glühstrumpf, „Fiestaware“ Teller mit Uran-inkludierender Farbe). In der dritten Aufgabe verwendet die Klasse ein GMZ, eine starke radioaktive Quelle aus Aufgabe 1 und eine Erdbeere (oder eine andere Frucht) zur Messung. Außerdem verwenden die Schüler*innen unterschiedliche Detektoren, um entsprechende (nicht ionisierende) Strahlung zu messen. Die Schüler*innen können Licht von einer Glühbirne mit einem Lichtsensor, Wärme von einer Wärmelampe mit einem IR Kamera, usw. messen.

Kasten 3: Auszug aus liR

(Portionen von) Radioaktivität Aufgabe 3 Quellen und Strahlung

Teil 1: Können radioaktive Objekte andere Objekte radioaktiv machen?

- Was denkt ihr, kann ein nicht radioaktives Objekt radioaktiv gemacht werden, indem es sich in der Nähe eines radioaktiven Objekts befindet?
- Schau dir zwei Videos an: „Zwei Erdbeeren vor Bestrahlung.mp4“ und „Zwei Erdbeeren nach Bestrahlung.mp4“. Lassen wir die Radioaktivität einer Erdbeere messen, bevor und nachdem sie für 48 Stunden in die Nähe eines radioaktiven Objekts platziert wurde. Schau dir zwei Videos an. Entscheide: ist die Erdbeere radioaktiver, nachdem sie in der Nähe des radioaktiven Objekts war? (Verwende die Regel, die du in Frage 1 geschrieben hast, um diese Frage zu beantworten!)
- Können wir bis hierhin sagen, ob ein radioaktives Objekt ein anderes Objekt radioaktiv macht? Begründe!

Teil 2: Strahlung vs. Radioaktivität

Ergänze die Tabelle mit deinen Beobachtungen aus den Videos.

Setup	Was kannst du sehen und hören?
Glühbirne & Lichtdetektor (Phyphox) Glühbirne.mp4	
Magnet & Magnetfeldmesser (Phyphox) Magnet.mp4	
Lautsprecher & Lautstärkemesser (Phyphox) Lautsprecher.mp4	
Uran & Geiger-Müller Zählrohr Uran.mp4	
Warmer Mensch & FLIR Kamera Mensch.mp4	

- Glaubst du es gibt eine andere Art von Radiation (Strahlung), die nichts mit „Radioaktivität“ zu tun hat? Begründe!
- Was glaubst du ist der Unterschied zwischen „Strahlung“ and „Radioaktivität“? Begründe!

Oft haben Lehrer*innen nicht mehr als einen GMZ. In diesem Fall kann man Videos vorbereiten, in denen Schüler*innen beobachten können, was sie messen würden, wenn sie selber die Untersuchungen durchführten. Die Aufgabenblätter wurden mit der Annahme geschrieben, dass Videos verwendet werden. Unsere Videos sind online auf Youtube verfügbar und die Links sind in den Aufgabenblättern eingebettet.

In der zweiten Aufgabe benötigt jede Gruppe bestehend aus vier Schüler*innen nur eine Münze, wobei der Wert keine Rolle spielt.

4. Wie hat das im konkreten Unterricht geklappt?

liR wurde mehrfach im Rahmen von universitären Lehrveranstaltungen erprobt. Während des Sommersemesters 2019 besuchten zwei Gruppen aus Schüler*innen der 4. Klasse die Universität Wien für einen einstündigen Stationenbetrieb. Die Schüler*innen wechselten von Station zu Station und führten unterschiedliche Experimente unter Anleitung von Lehramtsstudierenden durch. Während des Sommersemesters 2021 unterrichteten angehende Lehrpersonen in Paaren an zwei Gymnasien in Wien. Der Unterricht fand entweder in Präsenz (falls es möglich war), Online, oder im Hybrid-Format (z. B.

war eine angehende Lehrperson im Klassenzimmer, die zweite schaltete sich über das Internet mittels eines Computers dazu) statt. Es zeigte sich, dass der Unterricht recht erfolgreich war. Die Schüler*innen wurden unterstützt, Gespräche miteinander über Radioaktivität zu führen, welche das Potential hatten, die Vorstellung von einer „Strahlungssubstanz“ zu eliminieren.

Literatur

[1] Hull MM, Johnson A. Wie adaptiert man Unterrichtskonzepte erfolgreich? Ein Beispiel anhand von Inquiry into Radioactivity für den Einsatz in Gymnasien. In Kubsch M., Hrsg. Lehrkräftebildung neu gedacht. Waxmann; 2021: 155-159; Johnson A. Radiation and Atomic Literacy for Nonscientists; Science 2013;342, 6157: 436-7.; www.radiationliteracy.org

Es gibt auch erste deutschsprachige Versionen und Erfahrungen zu Aufgaben von Cycles 2, 3, und 4. Ebenso ist das originale Unterrichtskonzept verfügbar. Beides können Sie auf Anfrage von uns erhalten.

Michael M. Hull *University of Fairbanks, Alaska*

Marco Klestil *Gymnasium BRG Bad Vöslau Gainfarn.*

[2] Eijkelhof, HMC. Radiation and risk in physics education. Utrecht: Rijksuniversiteit Utrecht, CDB Press: 1990; Prather, EE, Harrington, RR. Student understanding of ionizing radiation and radioactivity. J Coll. Sc. Teach. 2001; 31: 89ff.; Riesch, W, Westphal, W. Modellhafte Schülervorstellungen zur Ausbreitung radioaktiver Strahlung. Der Physikunterricht 1975; 9: 75-85

[3] <https://aeccp.univie.ac.at/lehrer-innen/fuer-den-unterricht/>

Rezension zu Alexander Pusch, Niels Haverkamp, 3D Druck für Schule und Hochschule. Konstruktion von naturwissenschaftlichen Experimentiermaterial mit Best-Practice-Beispielen, Springer, 2022.

Florian Budimaier

3D-Druck für Schule und Hochschule von Alexander Pusch und Niels Haverkamp bietet eine kompakte Einführung in die Welt des 3D-Drucks für Physiklehrkräfte. Der Fokus liegt dabei auf dem Erlernen grundlegender Techniken durch das Nachkonstruieren vorgegebener Beispiele. Dadurch sollte es Lehrkräften ermöglicht werden, passgenaue Unterrichtskonzepte und -materialien zu entwickeln und einzusetzen.

Der erste Teil des Buchs beginnt mit einer Verortung des 3D-Drucks im Physikunterricht. Danach werden technische Grundlagen, sowohl im Bereich der Hardware als auch der dafür nötigen Programme erläutert. Dabei wird ausschließlich auf frei verfügbare Software zurückgegriffen. Druckparameter, wie Schichtdicke oder Füllhöhe werden durch eine Vielzahl von Abbildungen veranschaulicht. Zentrale Aspekte für die Gestaltung 3D-gedruckter Objekte sind übersichtlich in farblich abgetrennten Kästchen zusammengefasst. Am Ende steht ein kurzer Selbstcheck, welcher Leser*innen zur Kontrolle des eigenen Lernfortschritts auffordert.

Der zweite und umfangreichere Teil ist den Best-Practice Beispielen gewidmet. Dabei zeigt sich die praktische Erfahrung der Autoren bei der Vermittlung des 3D-Drucks. Sämtliche Arbeitsschritte werden anhand von praktischen Beispielen gezeigt, welche bereits mit Lehramts-Studierenden erprobt wurden. Vom Vergrößerungsclip für Smartphone-Kameras, über einen Luftkissengleiter bis zu einer Magnetfeldsonde werden verschiedene Teilbereiche der Physik abgedeckt. Abschließend finden sich auch Vorschläge für Projektaufgaben, welche mit Schüler*innen im Physikunterricht durchgeführt

werden können, beispielsweise die Konstruktion eines Bootes, das nur mit einem Gummiring angetrieben wird.

Die Leser*innen werden Schritt für Schritt durch alle Phasen der Konstruktion, Druckvorbereitung und des Drucks der Best-Practice Beispiele geleitet. Zudem werden der Unterrichtsbezug sowie mögliche Experimente, die mit den gedruckten Materialien gemacht werden können beschrieben. Wer nicht alle Beispiele selbst nachkonstruieren möchte wird bereits in der Einleitung auf die Website der Autoren verwiesen, wo sich eine Sammlung an Druckdateien zum Download befinden.

Insgesamt bietet das Buch eine übersichtlich gestaltete und gut nachvollziehbare Einführung in den 3D-Druck, welche sich besonders auf die professionellen Bedürfnisse von Physiklehrkräften konzentriert. Die Autoren fokussieren sich dabei auf das in der alltäglichen Verwendung eines 3D-Druckers notwendige Wissen und verzichten auf weiterführende technische Details. In der Annahme, dass sich die technologische Weiterentwicklung beim 3D-Druck auch weiterhin sehr schnell vollziehen wird, stellt sich allerdings die Frage, wie lange die hier gezeigten Anleitungen praktikabel sein werden. Eine stetige Weiterentwicklung und Ergänzung des Buchkonzepts ist daher sehr wünschenswert. Insbesondere für fortgeschrittene Nutzer*innen wären sicher auch Anleitung zu komplexeren Beispielen, wie dem von den Autoren entworfenen Interferometer-Experimentierset, von Interesse.

Florian Budimaier *AECC Physik, Universität Wien & PH Wien*

Jeder Mensch ist radioaktiv

Eine unterhaltsame Unterrichtskonzeption

Michael M. Hull, Saiki Kitagawa, Haruki Abe, Hiroshi Yokotani und Haruhiko Funahashi

1. Einführung

In diesem Beitrag stellen wir die Unterrichtskonzeption „The Radiation Around Us“ vor (TRAU). TRAU zielt darauf ab, den Schüler*innen beizubringen, dass Radioaktivität überall um uns herum ist, und zwar auf eine Art und Weise, die Spaß macht und das Verständnis der Schüler*innen für das Wesen der Naturwissenschaft vertieft. TRAU wurde vor kurzem zunächst von zwei der Autoren (M.H. und H.F.) aus dem Japanischen ins Englische und anschließend im Rahmen von Lehrveranstaltungen aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt. Die deutschsprachige Version ist online verfügbar [1].

2. The Radiation Around Us

Die japanische Originalversion von TRAU ist ein Auszug aus Miyuki Yamamotos Unterrichtskonzeption „Radiation and Sievert“ [2]. Diese ist nach der Methode der „Hypothesis-Experiment Class – HEC“ gestaltet. Diese Methode wurde von Kiyonobu Itakura (1930-2018) im Jahr 1963 vorgeschlagen [3]. Seitdem wurde eine Reihe von HEC-Unterrichtsmaterialien entwickelt, um Schüler*innen eine breite Palette von Themen, sowohl in den Natur, als auch in den Sozialwissenschaften zu vermitteln. HEC ist bei Lehrkräften in ganz Japan bekannt. HEC-Unterrichtsmaterial besteht in erster Linie aus einem unverzichtbaren „Classbook“. Die Schüler*innen erhalten diese von ihrer Lehrperson Seite für Seite. Die Seiten enthalten Multiple-Choice-Fragen, die sich auf ein Experiment beziehen. Die Schüler*innen treffen eine persönliche Vorhersage und diskutieren anschließend im Plenum. Nach Abschluss der Diskussion wird das eigentliche Experiment durchgeführt oder es werden die nächsten Seiten verteilt, die die Ergebnisse des Experiments sowie die nächste Frage enthalten.

Bei HEC-Unterrichtsmaterialien sind Versuchsergebnisse und die Diskussion zwischen den Schüler*innen über die Experimente entscheidend. Die Rolle der Lehrkraft besteht nicht darin, eine maßgebliche Quelle des Wissens zu sein, sondern vielmehr darin, die Diskussion zu unterstützen und sicherzustellen, dass die Schüler*innen die Experimente unter den vorgegebenen Versuchsbedingungen durchführen. Während der Diskussion wird die Lehrkraft die Lernenden beispielsweise auffordern, andere Ideen zu äußern, die noch nicht gehört wurden. „Vielleicht hast Du Dich für Antwort A entschieden, aber zuerst über B nachgedacht? Was war anfangs attraktiv an Antwort B?“ In ähnlicher Weise ist ein expliziter Schritt der Diskussion darauf ausgerichtet, den Schüler*innen, die ihre Meinung geändert haben, Raum zu geben, darüber

zu sprechen, was für sie an der anderen Perspektive sinnvoll war. Genauso wichtig wie das, was die Lehrkraft während der Diskussion tut, ist das, was die Lehrkraft NICHT tut: Die Lehrkraft korrigiert NICHT die Fehler in den Überlegungen der Lernenden, sondern lässt sie so stehen, wie sie sind. Sie wartet darauf, dass die Schüler*innen später eine angemessenere Deutung aufgrund einer Reihe von Versuchsergebnissen akzeptieren. Diese Maßnahmen werden als entscheidend für die Ziele der HEC-Unterrichtsmaterialien angesehen, zu denen 1) das konzeptionelle Verständnis und 2) die Freude der Lernenden am Lernprozess gehören. Um Spaß am Lernen zu haben und naturwissenschaftlich angemessene Erklärungen auf der Grundlage nachgewiesener experimenteller Ergebnisse persönlich zu akzeptieren, wird es als wesentlich angesehen, an der Generierung von Wissen teilzunehmen. Entscheidend sind die experimentellen Ergebnisse, nicht die Autorität der Lehrperson. Dies ist auch der Grund, warum zwischen den Experimenten in einem Classbook, wenn überhaupt, nur minimale Erklärungen gegeben werden. Stattdessen sind die Fragen sorgfältig so angeordnet, dass die Schüler*innen allmählich zu einem kanonischen Verständnis der Inhalte gelangen, und zwar auf eine Weise, die sich für sie organisch anfühlt und von der sie persönlich überzeugt sind.

Kasten 1: Aufgabe 6 aus „The Radiation Around Us“

Aufgabe 6

Ein anderer Weg uns von der Erde zu entfernen ist, unseren Abstand zum Boden zu erhöhen. Dieses Foto zeigt die Strahlungsmessung am Boden des Tokyo Towers. Wie du sehen kannst, war die gemessene Dosisleistung bei 0,065 Mikro-Sievert pro Stunde. Wie würde sich die Strahlung verändern, wenn wir die Stiegen auf 140 m hochklettern?



Erwartung

- A) Die Strahlung wird mit zunehmender Höhe schwächer.
- B) Die Strahlung bleibt gleich, unabhängig von der Höhe.
- C) Die Strahlung wird mit zunehmender Höhe stärker.

Warum denkst du das? Teile deine Ideen mit den anderen.

In Problem 6 des Classbooks von „The Radiation Around Us“ werden die Schüler*innen beispielsweise Folgendes gefragt: „Wie verändert sich die Gammastrahlung, wenn man den Tokyo Tower auf eine Höhe von 140 m besteigt“ (s. Kasten 1,

Zur Erinnerung: Die Ergebnisse sind auf der nächsten Seite. Sie werden erst später verteilt).

Wir haben bei dieser Frage eine breite Palette von Ideen der Lernenden beobachtet, z. B. dass die kosmische Strahlung mit der Höhe zunimmt, dass die kosmische Strahlung von der Atmosphäre vollständig abgeblockt wird, dass der Beton des Turms Strahlung abgibt und dass die Luftfeuchtigkeit zwischen dem Boden und der Aussichtsplattform Strahlung absorbiert, die aus dem Boden ausgesendet wurde. Nachdem sie jedoch das Ergebnis des Experiments gesehen haben (dass die Strahlung abnimmt), gehen die Schüler*innen direkt zu Aufgabe 7 über, ohne weitere Erklärungen abzugeben (s. Abb. 2).

Kasten. 2: Aufgabe 7 aus „The Radiation Around Us“

Ergebnisse: Die Strahlung am Tokyo Tower

Herr Yamamoto kletterte 600 Stiegen auf eine Höhe von 140 m und maß die Strahlung. Die Messung ist am Foto dargestellt. Wie du sehen kannst, war die Strahlungsbelastung der Gammastrahlung 0,01 Mikro-Sievert pro Stunde. Das ist etwa sechs Mal schwächer als die Strahlung am Boden.



Aufgabe 7

Stell dir vor, wir gehen noch höher hinauf und entfernen uns noch weiter vom Erdboden. Wie glaubst du, wie ist die Gammastrahlungsbelastung in einem Flugzeug in 10.000 m Höhe?

Erwartung

- Die Strahlung wird im Flugzeug schwächer sein als in 140 m Höhe am Tokyo Tower.
- Die Strahlung im Flugzeug ist stärker als am Boden.
- Es wird ungefähr das Gleiche sein wie auf 140 m Höhe am Tokyo Tower.

Warum denkst du das? Teile deine Ideen mit den anderen.

Lehrkräfte, die mit HEC nicht vertraut sind, könnten versucht sein, hier eine Diskussion über Ideen hinzuzufügen, die falsch sind und/oder zu einer falschen Vorhersage geführt hätten. Von solchen Zusätzen zur ursprünglichen Konzeption raten wir jedoch ab: Sie können als Zurückweisung der Ideen von Lernenden und/oder ein „brutales Aufzwingen einer Theorie“ [3] aufgefasst werden.

3. Ergebnisse

Die abschließende Aufgabe des Materials lautet:

Wir haben gelernt, dass der Boden, die Luft und der Weltraum Strahlungsquellen sind. Wir leben auf einem Planeten mit radioaktiven Atomen überall. Was ist mit unserem eigenen Körper? Da wir ein Teil der Erde sind, könnte es sein, dass radioaktive Atome auch in uns eingedrungen sind? Oder haben Lebewesen vielleicht einen Mechanismus, um zu verhindern, dass radioaktive Atome eindringen können. Was erwartest du?

Erwartung

- Menschen senden Gammastrahlen aus.
- Menschen senden keine Gammastrahlung aus.

Warum hast du dich so entschieden? Teile deine Ideen mit den anderen.

Einer der Autoren (H.Y.) unterrichtet zwei Klassen mit insgesamt 33 japanischen Schüler*innen des Abschlussjahrgangs. Vor der Teilnahme an TRAU beantworteten die Lernenden eine ähnliche Frage. Sie beantworteten dieselbe Frage erneut mindestens einen Monat nach Abschluss von TRAU. Der einzige Unterschied in der Verwendung des Classbooks bestand darin, dass die Schüler*innen einer Klasse in einen Baumarkt gingen, um zu überprüfen, dass einige Düngemittel besonders radioaktiv sind. Die Lernenden wurden am Ende von TRAU auch zu Ihrer Zufriedenheit befragt.

Beim Vortest wählten 13 der 32 Lernenden, „Menschen senden keine Gammastrahlung aus.“ Beim Nachtest antworteten alle teilnehmenden Schüler*innen: „Menschen senden Gammastrahlen aus.“ Es ist nicht ganz überraschend, dass die Lernenden so gut abgeschnitten haben. Schließlich ist der Nachtest so konzipiert, dass er sehr ähnlich zu Aufgabe 9 im Classbook ist. Allerdings kann diese Tatsache für Lernende ein Schock sein. Man könnte erwarten, dass die Schüler*innen die Tatsache, dass sie selbst radioaktiv sind, als beunruhigend empfinden und folglich die Lektion als unangenehm empfinden. Wie sich aber herausstellte, berichteten die Schüler*innen nicht, dass sie sich über die Erkenntnis, dass sie selbst radioaktiv sind, aufgeregt hätten. Vielmehr berichteten sie, dass ihnen das Classbook Spaß gemacht hatte. Sie gaben sogar detaillierte Erklärungen für das, was ihnen Spaß gemacht hatte: „Durch diesen Unterricht habe ich mich sehr dafür interessiert, was Strahlung konkret ist und welche Dinge sie aussenden. Ich bin froh, dass ich das gelernt habe, denn Strahlungsfragen sind eines der Themen, die in der heutigen Zeit im Vordergrund stehen.“

Die Tatsache, dass die Lernenden in der Lage waren, spezifische Erklärungen wie diese zu geben, deutet darauf hin, dass sie nicht nur eine positive Antwort wählten, um ihre Lehrperson glücklich zu machen.

4. Einsatz von TRAU im Unterricht

Laut nationalem Lehrplan sollen die Schüler*innen Folgendes leisten:

- Einblicke in die Veränderungen des Atomkerns als Ursache der „Radioaktivität“ gewinnen (Eigenschaften von Alpha-, Beta- und Gammastrahlen);
- den radioaktiven Zerfall als einen ständig stattfindenden Prozess erkennen;
- die grundlegenden Prozesse der Energieumwandlung in der Sonne, in Sternen und in Kernreaktionen (Kernfusion, Kernspaltung) verstehen.

In TRAU liegt der Schwerpunkt auf der Tatsache, dass Radioaktivität ein natürliches, ständig vorkommendes Phänomen ist. Damit spricht das Classbook vor allem den zweiten Punkt des österreichischen Lehrplans an. Der erste und dritte Punkt werden nur am Rande behandelt. Dies hat zur Folge, dass Lehrkräfte, die das Classbook verwenden und den nationalen

Liebe Vereinsmitglieder, sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

das war doch wirklich ein besonderer Tag, der 4. Oktober, oder? Ich erinnere mich noch genau an meine Überraschung, als ich gegen Mittag die Nobel-Webseite aufrief um nachzusehen, wer denn heuer ausgezeichnet wurde. Es ist eine große Freude, dass der Nobelpreis für Physik 2022 u. a. an Anton Zeilinger vergeben wird. Und natürlich habe ich schon angefragt, ob der Nobelpreisträger denn nicht einmal einen Vortrag auf der Fortbildungswoche halten würde. Ich bin auch zuversichtlich, dass das in einem der nächsten Jahre klappen wird. Aber unabhängig davon, haben wir einige Angebote der diesjährigen Fortbildungswoche dazu vorgesehen und es wird auch demnächst einmal ein Themenheft von Plus Lucis geben.

Aber zunächst einmal freuen wir alle uns darauf, endlich wieder einmal in Präsenz zu tagen. Wir haben uns alle inzwischen daran gewöhnt, mit Covid19 zu leben und so stehen keine Hindernisse einer Fortbildungswoche in Wien entgegen. Gerne halten wir aber die Tradition aufrecht, einige Online-Angebote für diejenigen zu machen, die nicht nach Wien kommen wollen oder dürfen. Aber der Schwerpunkt liegt wieder auf Präsenz-Angeboten bei Vorträgen, Workshops

und Exkursionen. Ich bin sicher, dass für alle unter Ihnen interessante Veranstaltungen dabei sein werden. Wir bitten aber darum, nur getestet zur Fortbildungswoche zu kommen. Bedanken möchte ich mich bei den Fördergebern der Fortbildungswoche. Ohne die Unterstützung durch die Fakultät für Physik der Universität Wien und die Pädagogische Hochschule Wien und die Kirchlich pädagogische Hochschule Wien/Krems könnte diese Veranstaltung nicht stattfinden. Dank gilt auch den Arbeitsgemeinschaften der Region und den anderen pädagogischen Hochschulen für die Unterstützung. Die vielen Menschen in den AECCs Chemie und Physik sind wesentlich für das Gelingen der Fortbildungswoche. Ein besonderer Dank gilt Thomas Plotz und seinem Team von der KPH Wien/Krems, die den Volksschulnachmittag der Fortbildungswoche verantworten.

Und ja, es ist jetzt schon die 77. Fortbildungswoche. Aber wir werden natürlich gehörig (nach-)feiern. Dazu haben wir auch Magic Andy eingeladen, der uns am Montag Abend eine umwerfende Science Show präsentieren wird.

Viel Spaß auf der Fortbildungswoche

Martin Hopf, Obmann

Anmeldung zur Fortbildungswoche

Für die 77. Fortbildungswoche wird in diesem Jahr wieder mit dem Buchungssystem *eveno* gearbeitet. Abgewickelt wird die Anmeldung über folgende Homepage:

<https://eveno.com/PlusLucis>

Folgen Sie zur Anmeldung einfach diesem Link.

Bei Problemen bitten wir um eine Mail an die folgende Adresse: vorstand@pluslucis.org

Den obigen Link finden Sie auch auf der Vereinshomepage, wo Sie zudem eine Langform des Programms inklusive

verschiedenster Beschreibungen für die Vorträge, Workshops und Exkursionen finden.

Die Anmeldung für Vereinsmitglieder ist mittels Anmeldecode (findet sich auf der Rückseite dieser Plus Lucis Ausgabe) ab 3.1.2023 möglich. Alle anderen können sich ab 8.1.2023 für die Fortbildungswoche anmelden.

Wir freuen uns auf Ihr Kommen im Februar.

Der Vorstand

Montag, 20.2.2023

Vorträge

ORT: Lise-Meitner-Hörsaal, Boltzmannngasse 5, 1. Stock, 1090 Wien

9:15-10:00	Begrüßung und Eröffnung Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf, Obmann
10:00-11:00	Was können uns Radionuklide in der Umwelt über deren Emissionsquellen und den Auswirkungen des Klimawandels verraten? Ass.-Prof. ⁱⁿ Dr. ⁱⁿ Karin Hain, Universität Wien, Fakultät für Physik
11:30-12:30	Der Nobelpreis für Physik 2022 Ass.-Prof. Dr. Andreas Nunnenkamp, Universität Wien und ÖAW

Vorträge

Workshops

14:00-15:00	Von der Präparation einzelner Photonen zu den Wesenszügen der Quantenphysik Univ.-Prof. Dr. Philipp Bitzenbauer, Universität Leipzig, Didaktik der Physik <i>Christian-Doppler-Hörsaal, Boltzmannngasse 5, 3. Stock, 1090 Wien</i>	14:00-17:00	Nachhaltige und grüne Chemie am Beispiel von „grüner“ Kosmetik – Unterrichtsmodule zur Grünen Chemie (Green Chemistry) für die SI und SII Dr. Michael Linkwitz, Otto-Hahn-Gymnasium Bensberg & Universität Bremen <i>Multifunktionsraum (Porzellangasse 4, 3. Stock)</i> Gib alternativen Fakten keine Chance – Anregungen für einen evidenzbasierten Chemieunterricht Pascal Pollmeier, Universität Paderborn <i>Seminarraum AECCs (Porzellangasse 4, 3. Stock)</i> Interactive Virtual Field Labs: Connecting Climate Change to the Physics and Chemistry Classroom Louise Huffman & Bill Grosser, U.S. Ice Drilling Program Education Outreach <i>online</i> Aufgaben zu E- und S-Kompetenz Dr. ⁱⁿ Susanne Neumann, ARGE-Leitung Physik, Wien <i>Josef-Stefan-Hörsaal (Boltzmannngasse 5, 3. Stock, Raumnr. 3329)</i> Energie-Feld-Ansatz Manuel Becker, MSc <i>Kleiner Seminarraum Materialphysik (Boltzmannngasse 5, 3. Stock, Raumnr. 3354A)</i> Zwischen Fakten und Fakes – Klimawandel im Physikunterricht Ass.-Prof. Thomas Schubatzky, PhD und Mag. ^a Sarah Wildbichler, Universität Innsbruck <i>Erwin-Schrödinger-Hörsaal (Boltzmannngasse 5, 5. Stock, Raumnr. 3500)</i> Einstieg in die Optik – Neuer Lehrplan Markus Obczovsky, Claudia Haagen-Schützenhöfer, Universität Graz <i>Zimmer 55 (Boltzmannngasse 5, 1. Stock, Raumnr. 3114)</i>
15:00-16:00	Physik in der Dombauhütte: Grundlagen und Anwendungsbeispiele der Kolloid- und Grenzflächenwissenschaften Univ.-Prof. Dr. Markus Valtiner, TU Wien, Fakultät für Physik <i>Christian-Doppler-Hörsaal, Boltzmannngasse 5, 3. Stock, 1090 Wien</i>		
16:30-17:30	360°-Video Game „Physics Life“ Univ.-Prof. ⁱⁿ Dr. ⁱⁿ Verena Spatz und Moritz Kriegel, TU Darmstadt, Didaktik der Physik <i>Christian-Doppler-Hörsaal, Boltzmannngasse 5, 3. Stock, 1090 Wien</i>		
18:00-19:15	lichterloh & farbenfroh – Experimental-Show Dr. Andreas Korn-Müller alias Magic Andy <i>Lise-Meitner-Hörsaal, Boltzmannngasse 5, 1. Stock, 1090 Wien</i>		

Dienstag, 21.2.2023

Vorträge

ORT: Lise-Meitner-Hörsaal, Boltzmannngasse 5, 1. Stock, 1090 Wien

Vorträge

ORT: Christian-Doppler-Hörsaal, Boltzmannngasse 5, 3. Stock, 1090 Wien

9:00-10:00	Unterrichtskonzeptionen zu elektrischen Stromkreisen Univ.-Prof. Dr. Thomas Wilhelm, Goethe-Universität Frankfurt, Didaktik der Physik	9:00-9:55	„Grüne Chemie“ – wie geht das? Univ.-Prof. Dipl.-Chem. Dr. Thomas Rosenau, Universität für Bodenkunde
10:00-11:00	"Ab initio" quo vadis? Univ.-Prof. Dr. Georg Kresse, Universität Wien, Fakultät für Physik	10:00-11:00	Zwischen Fakten und Fake News – naturwissenschaftliche Informationen in den Medien kritisch hinterfragen Prof. ⁱⁿ Dr. ⁱⁿ Nadja Belova, Universität Oldenburg & Universität Bremen
11:30-12:30	Die Rolle von Messunsicherheiten im naturwissenschaftlichen Unterricht Univ.-Prof. Dr. Burkhard Priemer, Humboldt-Universität zu Berlin, Didaktik der Physik	11:15-12:10	Watch out! – Gefährliche Challenges auf TikTok und YouTube Prof. Dr. Markus Prechtel, Technische Universität Darmstadt

Workshops nach dem Mittagessen**Exkursionen**

14:00-17:00	<p>Irreführende Werbung im Chemieunterricht als Unterrichtskontext Prof.ⁱⁿ Dr.ⁱⁿ Nadja Belova, Universität Oldenburg & Universität Bremen <i>Multifunktionsraum (Porzellangasse 4, 3. Stock)</i></p> <p>ART HACKS für den NaWi-Unterricht – Science Communication by Iron, upgraded! Yannick Legscha & Prof. Dr. Markus Prechtel, Technische Universität Darmstadt <i>Seminarraum AECCs (Porzellangasse 4, 3. Stock)</i></p> <p>Quantenoptik an Schulen: Das Erlanger Unterrichtskonzept unter der Lupe Univ.-Prof. Dr. Philipp Bitzenbauer, Universität Leipzig <i>Zimmer 55 (Boltzmannngasse 5, 1. Stock, Raumnr. 3115)</i></p> <p>Mathematische Modellbildung in der Oberstufenmechanik Dr. Thomas Wilhelm, Goethe-Universität Frankfurt am Main <i>Erwin-Schrödinger-Hörsaal (Boltzmannngasse 5, 5. Stock, Raumnr. 3500)</i></p> <p>Messunsicherheiten im Physik-Unterricht thematisieren Prof. Dr. Burkhard Priemer, Humboldt-Universität zu Berlin <i>Kleiner Seminarraum Materialphysik (Boltzmannngasse 5, 3. Stock, Raumnr. 3354A)</i></p> <p>Katze Q / Quantenphysik Carsten Albert, TU Dresden <i>Josef-Stefan-Hörsaal (Boltzmannngasse 5, 3. Stock, Raumnr. 3329)</i></p> <p>mathcitymap Peter Pollak, KPH Wien/Krems <i>Christian-Doppler-Hörsaal (Boltzmannngasse 5, 3. Stock)</i></p> <p>Elektromagnetische Strahlung verständlich unterrichten Sarah Zloklikovits, ARGE Physik Wien <i>Schulversuchspraktikum (Porzellangasse 4, E1 Zwischengeschoß)</i></p>	14:00-15:00	<p>HappyLab als externer Lernort für den Physikunterricht – Führung durch Wiens größten Makerspace <i>Treffpunkt: Schönngasse 15-17, 1020 Wien</i></p>
		15:30-17:00	<p>Virtueller Besuch am CERN Sarah Zöchling und Jeff Wiener, CERN <i>online</i></p>

Mittwoch, 22.2.2023

Workshops**Exkursionen**

9:00-12:00	<p>Gemeinsam und hands-on experimentieren – remote und vor Ort Dr.ⁱⁿ Marion Pellowski, Deutsches Museum München <i>Zimmer 55 (Boltzmannngasse 5, 1. Stock, Raumnr. 3114)</i></p> <p>Climate Detectives Workshop – Klimaforschung mit ESA-Satellitendaten im Physikunterricht MMag.^a Bettina Anderl, ESERO Austria <i>Erwin-Schrödinger-Hörsaal (Boltzmannngasse 5, 5. Stock, Raumnr. 3500)</i></p> <p>Die kleinsten Teilchen an den größten Maschinen der Welt Dr. Jochen Schiek (HEPHY), Peter Szokol, MA (SMI), Dr. Eberhard Widmann (SMI) <i>Stefan Meyer Institut, Kegelgasse 27, 1030 Wien</i></p> <p>Interaktiver Webcomic „Wir fangen Magnonen“ – Ein Blick in die Wissenschaft vom Handy Lic. Pedro del Real, MA, Universität Wien <i>Kleiner Seminarraum Materialphysik (Boltzmannngasse 5, 3. Stock, Raumnr. 3354A)</i></p>	9:00-12:00	<p>Science teacher meets scientist – ein Blick hinter die Kulissen eines Weltklasse-Forschungsinstituts <i>Shuttle ab Wien (Details werden noch bekannt gegeben)</i></p>
		10:00-13:00	<p>Wie funktioniert eigentlich ein Corona-PCR-Test? <i>Treffpunkt: Ingenetix GmbH, Arsenalstraße 11, 1030 Wien</i></p>
14:00-17:00	<p>CO₂BS – Coole Bäume und Sensoren Josef Kriegseisen und Alexander Strahl, Universität Salzburg <i>Zimmer 55 (Boltzmannngasse 5, 1. Stock, Raumnr. 3114)</i></p> <p>3D Drucker Workshop für Lehrer*innen Mag. Felix Schöfl, Wiedner Gymnasium Wien <i>Schulversuchspraktikum (Porzellangasse 4, E1 Zwischengeschoß)</i></p> <p>Einführung und Hands-On in Quantencomputing Tobias Guggemos, Fakultät für Physik, Universität Wien <i>Ludwig-Boltzmann-Hörsaal (Boltzmannngasse 5, Tiefparterre)</i></p>	14:00-17:00	<p>Kraftwerk Simmering <i>Treffpunkt: Kraftwerk Simmering, 1. Haidequerstraße 1, 1110 Wien</i></p>

Naturwissenschaftlicher Sachunterricht in der Volksschule

Ort: Fakultät für Physik, Universität Wien, Boltzmann-gasse 5, 1090 Wien

Mittwoch, 22.2.2023, 14:00-18:00

14:00-14:45	„Beobachten beim (Offenen) Experimentieren“ Prof. Dr. Markus Peschel (Universität Saarland) <i>Christian-Doppler-Hörsaal (Fakultät für Physik, 3. Stock)</i>
-------------	---

Workshops

15:00-16:15	Kooperative Formen der Leistungsbewertung im inklusiven Sachunterricht Prof. ⁱⁿ Dr. ⁱⁿ Ines Oldenburg (Carl von Ossietzky Universität Oldenburg) <i>Kl. Seminarraum 3354A, (Fakultät für Physik, 3. Stock)</i> Schulgärtnern – mit und ohne Garten! HS-Prof. Dr. Stefan Jarau (Pädagogische Hochschule Vorarlberg) <i>Kurt-Gödel-Hörsaal (Fakultät für Physik, Erdgeschoss)</i> Leo: Saures und Basisches in unserem Alltag. Ein Materialpaket für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht in der Volksschule Dr. Christian Nosko (Kirchliche pädagogische Hochschule Wien/Krems und Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie (AECC Chemie), Universität Wien) Dr. ⁱⁿ Susanne Jaklin-Farher (Bundesbildungsanstalt für Elementarpädagogik Oberwart, Pädagogische Hochschule Wien und Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie (AECC Chemie), Universität Wien) Mag. ^a Katrin Reiter (Lehrerin für Chemie und Mathematik in Wien, Pädagogische Hochschule Wien und Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie (AECC Chemie), Universität Wien) <i>Erwin-Schrödinger-Hörsaal (Fakultät für Physik, 5. Stock)</i> Sprach-Fach-Erschließung von Auftriebsphänomenen Prof. Dr. Markus Peschel (Universität Saarland) <i>Zimmer 55 (Fakultät für Physik, 1. Stock, Raumnummer: 3114)</i>
16:15-16:45	Kaffeepause
16:45-18:00	Wiederholung der Workshops

Die Teilnahme ist kostenfrei. Um Anmeldung bei der Schulaufsicht wird gebeten.

Hinweise für die Teilnehmerinnen und Teilnehmer:

- Für alle Veranstaltungen ist wegen beschränkter Teilnehmerzahl und aufgrund von Covid-Regelungen eine vorherige Anmeldung notwendig. Die Anmeldung erfolgt ausschließlich über das Internet unter <https://www.pluslucis.org/>. Dort sind weitere Informationen zu finden. Sollte später Ihre Teilnahme unmöglich werden, ersuchen wir Sie dringend, sich im Anmeldesystem selbst wieder abzumelden, damit andere Personen den Platz nutzen können. Anmeldeschluss: 13.2.2022
- Es gelten die zum jeweiligen Zeitpunkt gültigen (Wiener) Sicherheitsregeln zu Covid19. Eine Teilnahme an der Fortbildungswoche ist nur mit gültigem Nachweis entsprechend der gültigen Richtlinien erlaubt. Die Zertifikate werden vor Ort überprüft. Die gültigen Regeln zu Maskenpflicht und Abständen werden vor der Veranstaltung bekanntgegeben und sind einzuhalten. Wer die Regeln nicht einhält, kann an der Veranstaltung nicht teilnehmen.
- Zur dienstrechtlichen Absicherung Ihrer Teilnahme ist die Inskription an der Pädagogischen Hochschule Wien notwendig. Informationen dazu sind auf unserer Homepage abrufbar.
- Die Teilnahme ist für Mitglieder des Vereins zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts frei. Von Nichtmitgliedern wird für die Anmeldung ein Spesenbeitrag zu den Organisationsspesen in der Höhe von Euro 20,- eingehoben.
- Alle Teilnehmerinnen und Teilnehmer werden aufmerksam gemacht, dass sie Labors, Betriebsstätten und sonstige Teile von Fabriks- oder anderen Anlagen auf eigene Gefahr besuchen und dass weder das Unternehmen noch der Verein für Unglücksfälle und sonstige wie immer geartete Schadensfälle, die sich – gleichgültig ob durch eigenes oder fremdes Verschulden, Zufall oder sonst wie immer – während oder anlässlich des Besuches ereignen, haftbar oder schadenersatzpflichtig sind.
- Es wird darauf hingewiesen, dass am Veranstaltungsort Fotos angefertigt werden und zu Zwecken der Dokumentation der Veranstaltung veröffentlicht werden können.
- Die Workshops werden unterstützt durch die Pädagogische Hochschule Wien.
- Mit der Anmeldung zur Fortbildungswoche stimme ich ausdrücklich zu, dass die von mir angegebenen Daten für Veranstaltungszwecke verarbeitet werden dürfen.
Die Datenschutzerklärung für diese Anwendung finden Sie unter https://www.pluslucis.org/Dateien/Datenschutzerklaerung_Verein.pdf.
- Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung jederzeit durch Übersendung eines Schreibens an den Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen Unterrichts, +43-1-4200-60330, vorstand@pluslucis.org, Martin Hopf widerrufen kann.

Lehrplan erfüllen wollen, die fehlenden Themen entweder vor oder nach der Verwendung von TRAU hinzufügen müssen.

TRAU beginnt in der Regel damit, dass die Lernenden ihre eigenen Nebelkammern aus Trockeneis und eher alltäglichen Materialien wie Styroporboxen, dickem Papier und Alkohol bauen. Wenn die Schüler*innen dann sehen, dass Spuren ionisierender Strahlung auftreten, auch wenn keine radioaktive Quelle in die Nebelkammer eingebracht wurde, können sie erkennen, dass die Spuren nicht durch die Verwendung von Hightech-Physikgeräten entstehen, die ionisierende Strahlung erzeugen, sondern dass Radioaktivität Teil ihrer alltäglichen Existenz ist. In Österreich ist es jedoch für Lehrkräfte aus Sicherheitsgründen problematisch, Trockeneis mit in den Unterricht zu nehmen. In den aktuell noch laufenden Master-Arbeiten von Jidler und Wintersteller wurde die Aufgabe, die Schüler*innen eigene Nebelkammern entwerfen zu lassen, dadurch ersetzt, dass sie Videos von Spuren in Nebelkammern ansehen sollten. Begründet wurde dies mit [4]: Der Lernzuwachs von Studierenden im Fach Geometrische Optik war unabhängig davon, ob sie praktische Experimente durchführten oder Simulationen verwendeten. Speziell für den Bereich der Radioaktivität wurde dieses Ergebnis auch in der Bachelorarbeit von Freilinger [5] gefunden: Der Lernerfolg von Schüler*innen im Bereich der ionisierenden Strahlung wurde nicht merklich davon beeinflusst, ob sie ihre eigenen Nebelkammern herstellten (unter Verwendung einer gefrorenen Gelpackung anstelle von Trockeneis) oder Videos über Nebelkammern ansahen und diskutierten. Wenn sich österreichische Lehrpersonen dafür entscheiden, den praktischen Bau von Nebelkammern durch videobasierten Unterricht zu ersetzen, dann sind keine Geräte zur Durchführung von TRAU notwendig, da die Versuchsergebnisse alle im Klassenbuch abgedruckt sind.

Literatur

- [1] „The Radiation Around Us“ <https://u.kyoto-u.jp/hec-trau-d>
- [2] Itakura K. Hypothesis-Experiment Class (Kasetsu): With practical materials for fun and innovative science classes. Kyoto: Kyoto Univ Press 2019.
- [3] Yamamoto M. Radiation and Sievert (Japanese) Hippopoya Summer Conference Edition 2011.

Danksagung

Die Übersetzung von TRAU aus dem Englischen ins Deutsche war ein Projekt, an dem folgende Studierende des Master of Education an der Universität Wien im Rahmen eines Vertiefungsseminars beteiligt waren: Johanna Fehringer, Sebastian Förster, Florian Kellner, Christoph Kofler, Robert Leithner, Maximilian Jidler und Markus Wintersteller. Die beiden Letztgenannten haben im Rahmen ihrer Masterarbeiten mit den Titeln „Hypothesis Experiment Class‘ Influence on Conceptual Understanding and Interest“ bzw. „Hypothesis Experiment Class – Teacher’s Influence on Teaching HEC“ letzte Änderungen an der Übersetzung vorgenommen.

Michael M. Hull arbeitete bis August 2022 an der Universität Wien im Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik als Postdoc. Seit September 2022 ist er Professor an der University of Fairbanks, Alaska.

Saiki Kitagawa ist Doktorand an der Kyoto University, Graduate School of Human and Environmental Studies. Obwohl er jetzt in der Forschungsgruppe für Spinelektronik tätig ist, spielte er eine Schlüsselrolle bei der ersten Implementierung und Bewertung von TRAU in Yokotanis Physikunterricht.

Haruki Abe ist Doktorand an der Kyoto University, Graduate School of Human and Environmental Studies. Seine Dissertation, die von Funahashi betreut wird, befasst sich mit der Erstellung und Evaluierung eines Klassenbuchs, das auf Feynmans Buch QED basiert.

Hiroshi Yokotani ist Oberstufenphysiklehrer an der Kyoto International University Academy. Er hat zahlreiche Classbooks in seinem Unterricht zu verschiedenen Themen eingesetzt.

Haruhiko Funahashi ist Professor an der Universität Kyoto, Institut für freie Künste und Wissenschaften. Prof. Funahashi leitet eine Forschungsgruppe, die Klassenbücher entwirft und testet, die als Grundlage für Hypothesen-Experimentierkurse (HEC) dienen. Die Gruppe von Prof. Funahashi ist maßgeblich an der Association for Studies in Hypothesis-Experiment Class (ASHEC) beteiligt, die über 1200 Mitglieder zählt.

- [4] Theyßen H. Methodik von Vergleichsstudien zur Wirkung von Unterrichtsmedien. In Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin: Springer Spektrum 2014: 67-79.

- [5] Freilinger, M. Does the Hands-on Experience of Constructing a Cloud Chamber Improve the Cognition of Students about Ionizing Radiation and Radioactivity? Universität Wien 2022; unveröffentlichte Bachelorarbeit.

Vor- und Nachteile gängiger Analogien in der Radioaktivität

Michael M. Hull und Martin Hopf

1. Einführung

Atomkerne und die von instabilen Kernen ausgehende Strahlung sind nicht sichtbar bzw. unsichtbar. Daher sind Simulationen und Analogien im Unterricht über Radioaktivität und insbesondere für den zeitlichen Verlauf beim Zerfall von Atomkernen besonders wichtig. Wann ein einzelner Kern zerfällt, ist zufällig. Das kann man sich (oder auch Schüler*innen) zum Beispiel anhand des Alphazerfalls klarmachen. In einem einfachen Modell hierfür ist ein Alphateilchen im Potenzialtopf des Kerns gefangen. Damit es aus diesem Potenzialtopf austreten kann, muss es durch die Potentialbarriere tunneln. Dafür gibt es eine gewisse Wahrscheinlichkeit. Eine genaue Beschreibung mit quantenphysikalischen Modellierungen liefert eine Zerfallswahrscheinlichkeit für einen einzelnen Atomkern [z. B. 1]. Hat man nun nicht nur einen einzigen Atomkern, sondern sehr viele, so können wir mit statistischen Mitteln sehr gut Vorhersagen darüber machen, wie viele Kerne wann zerfallen werden.

2. Analogien

Wie sich zeigt ist es aber schwierig, diese Idee den Lernenden plausibel zu machen [2]. In diesem Artikel werden die Vor- und Nachteile einiger Analogien erörtert, die im Physikunterricht und in der fachdidaktischen Forschung verwendet wurden, um das Verständnis der Schüler*innen zur Halbwertszeit zu untersuchen. Die besten Analogien sind solche, die Eigenschaften aufweisen, die die Radioaktivität sowohl auf der Ebene des einzelnen individuellen Atomkerns als auch auf der Ebene des Systems, das aus vielen individuellen Atomkernen besteht, widerspiegeln. Als Beispiel können wir uns eine Analogie des radioaktiven Zerfalls zu Regentropfen vorstellen, die während eines leichten Regens auf einen Bürgersteig fallen. Obwohl es zufällig ist, wann eine bestimmte Stelle auf dem Bürgersteig nass wird, können wir vorhersagen, dass der Bürgersteig nach einer gewissen Zeit vollständig nass sein wird.

In ähnlicher Weise können wir bei einer Probe eines kurzlebigen Isotops mit einer Halbwertszeit von z. B. 1 ns vorhersagen, dass nach einer Sekunde alle Kerne in der Probe zerfallen sind. In ähnlicher Weise können wir an die Analogie „Popcorn“ denken. Obwohl es zufällig ist, wann ein einzelnes Korn platzt, können wir dennoch vorhersagen, dass bei genügend Zeit (im Wesentlichen) das gesamte Popcorn aufgesprungen sein wird. Die Analogien von Regentropfen und Popcorn haben aber den Nachteil, dass die Lernenden nicht auf eine Halbwertszeit schließen können, weder im Gedankenexperiment noch bei der Durchführung eines tatsächlichen Experiments. Die

Schüler*innen gehen eher davon aus, dass der Bürgersteig, wenn er nach 5 Minuten halb nass ist, in weiteren 5 Minuten vollständig nass sein wird. Ein Experiment zu planen, um sie vom Gegenteil zu überzeugen, ist schwer möglich. Es ist auch unklar, ob die experimentellen Daten tatsächlich auf eine Halbwertszeit schließen lassen würden. Andererseits sind die traditionelleren Analogien des Münzwürfens oder Würfels im Klassenzimmer leicht umzusetzen, und die Daten belegen überzeugend eine Halbwertszeit. In diesem Artikel werden wir uns auf die Analogien des Würfels und Münzwürfens sowie deren Varianten konzentrieren. Abschließend werden wir andere Analogien diskutieren, darunter das Bierschaumexperiment.

2.1 Münzen

Ein gängiger Ansatz zur Veranschaulichung der Halbwertszeit ist eine Analogie mit Münzen. In der einfachsten Version wird eine Tasse mit (gleichen) Münzen auf den Tisch gekippt, und alle, die „Zahl“ zeigen, werden entfernt. Die anderen werden in die Tasse zurückgelegt und der Vorgang wird wiederholt. Jedes Leeren der Tasse entspricht damit einer „Halbwertszeit“. Diese Analogie des Münzwurfs hat mehrere Nachteile. Erstens: Während die geworfenen Münzen in diskreten Abständen zerfallen, zerfällt eine Ansammlung radioaktiver Atome kontinuierlich. Zweitens kann das Herausnehmen der Münzen aus dem Spiel, wenn sie auf „Zahl“ landen, das Missverständnis verstärken, dass die Hälfte der Masse oder des Volumens eines Objekts (z. B. eines radioaktiven Steins) nach Ablauf der Halbwertszeit des Radioisotops verschwunden ist [3]. Schließlich bedeutet die Tatsache, dass die Halbwertszeit genau einen Wurf beträgt, dass 50 % in zwei Zusammenhängen vorkommt: Erstens beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass eine einzelne Münze aus dem Spiel genommen wird, 50 %. Zweitens „zerfallen“ nach einer Halbwertszeit 50 % der Münzen. Dieses Zusammentreffen kann zu einer Verwechslung beim Lernen führen: Man könnte denken, dass es nur dann eine Halbwertszeit gibt, wenn die Wahrscheinlichkeit, bei einem bestimmten Ereignis zu „zerfallen“, 50 % beträgt. Obwohl dieses Missverständnis in der Literatur noch nicht dokumentiert wurde und wir vermuten, dass es relativ selten vorkommt, wurden wir in seltenen Fällen von Studierenden gefragt: „Wie können wir etwas Anderes als Münzen als Analogie für die Halbwertszeit verwenden? Wenn die Zerfallswahrscheinlichkeit nicht 50 % beträgt, dann gibt es doch keine Halbwertszeit, oder?“

Das erste Problem (die diskreten Intervalle des Münzwurfs) könnte man dadurch lösen, dass man den Münzwurf verändert: Man greift in einen Münzvorrat und wirft eine Münze nach

der anderen. Die Schüler*innen können sich vorstellen, dass sie z. B. 100 Münzen in einem Beutel haben, aus dem sie eine nach der anderen herausnehmen, eine Münze pro Sekunde. Fragt man nach der „Halbwertszeit“ des Münzvorrats, wäre dieser hier 100 Sekunden. Aber natürlich ist das etwas anderes als das Verhalten radioaktiver Atome, denn es kann immer nur eine Münze „zerfallen“, während zwei Atome auch im selben Moment zerfallen könnten. Das wissen Lernende auch. Als wir diese Analogie in einer Befragung in der Oberstufe anwandten, sagte der von uns interviewte Schüler Bailey zum Beispiel: „Atome folgen keinem Schema..., zehn können auf einmal zerfallen, und in den nächsten zwei Sekunden nur noch eines“ [4].

Eine andere Modifikation, die dieses Problem löst, ist die Analogie, dass sich 100 Personen in einem Raum befinden, von denen jede eine eigene Münze wirft, und zwar zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb der Halbwertszeit von 100 Sekunden. Wenn die Münze „Zahl“ zeigt, geht die Person aus dem Raum. Fällt sie auf „Kopf“, wartet die Person bis zur zweiten Runde von 100 Sekunden und wählt einen Zeitpunkt, um erneut zu werfen. Aber auch dann gibt es noch Einschränkungen. Erstens: Indem wir den Münzwerfenden die Wahl lassen, wann sie die Münze werfen, führen wir den freien Willen ein. Vielleicht werden alle Münzwerfenden zu Beginn der 100 Sekunden werfen, damit sie den Raum schneller verlassen können? Atome hingegen verhalten sich rein zufällig. Außerdem haben wir zwar die „Zerfälle“ durch das Werfen von Münzen verteilt, aber um den Preis, dass wir eine zusätzliche Quelle der Wahrscheinlichkeit eingeführt haben. Insbesondere ist es nicht nur zufällig, ob eine bestimmte geworfene Münze Kopf zeigt, sondern auch, WANN diese Münze geworfen wird. Im Fall von radioaktiven Atomen (und im Fall von Regentropfen, die auf den Bürgersteig fallen, oder platzenden Maiskörnern) gibt es nur die Zeit als Zufallsvariable.

2.2 Würfel

Es gibt gute Argumente dafür, dass man besser Würfel verwenden sollte als Münzen. Dann „zerfällt“ ein Würfel, wenn eine vorher festgelegte Zahl geworfen wird und er wird aus dem Spiel genommen. Die Verwendung von Würfeln hat den Vorteil, dass auf diese Weise die mögliche Verwechslung der 50 %-igen Chance, dass eine Münze zerfällt (auf „Zahl“ landet) mit den 50 % der radioaktiven Probe, die nach einer Halbwertszeit umgewandelt werden, vermieden wird [5]. Im Falle der Verwendung von sechsseitigen fairen Würfeln besteht eine Wahrscheinlichkeit von $1/6$, dass ein Würfel pro Wurf „zerfällt“. Das ist ein deutlich anderer Wert als die 50% der Würfel, die nach einer Halbwertszeit noch vorhanden wären. Anders ausgedrückt: Bei der Verwendung von Münzen besteht die Gefahr, dass den Lernenden der Eindruck vermittelt wird, dass die Halbwertszeit einer radioaktiven Probe IMMER eine Zeiteinheit (ein Wurf) ist. Das ist bei der Verwendung von Würfeln anders.

Schwieriger zu erkennen für Lernende ist im Fall von Würfeln die Frage der „Halbwertszeit“. Eigentlich wäre es hier sinnvoller, von Halbwurfszeit zu sprechen, aber wir empfehlen, von vornherein von Halbwertszeit zu sprechen. Da es sich ja um einen diskreten Prozess handelt, muss viel Zeit darauf verwendet werden, den Schüler*innen klarzumachen, dass wir die Zeit mit diskreten Würfeln modellieren. Es lohnt also, die Frage zu behandeln, nach wie vielen Würfeln nur noch die Hälfte der Würfel vorhanden ist. Das ergibt die Formel $N(k) = N_0 q^k$, wobei $N(k)$ die Zahl der noch nicht zerfallenen Würfel ist, N_0 die anfängliche Zahl der Würfel, k die Zahl der Würfel und q die Wahrscheinlichkeit dafür, NICHT zu zerfallen – im Fall von sechsseitigen Würfeln also $5/6$. Spielt man mit dem Taschenrechner, so sieht man, dass nach 3 Würfeln noch mehr als 50 % der Würfel vorhanden sind und erst nach 4 Würfeln die Anzahl unter 50 % gesunken ist. Zur Vertiefung könnte hier auch ein Baumdiagramm gezeichnet werden.

Möchte man hier noch mehr variieren, empfehlen wir den Einsatz andersartiger Würfel. Es gibt eine große Auswahl verschiedenster Arten von Würfeln, viele davon sind sogar leicht mittels 3D-Druck selbst herstellbar. Andersartige Würfel zeigen dann andere „Halbwertszeiten“. Wichtig ist, dass die Lernenden verstehen, dass der Zerfall eines einzelnen Kerns zufällig ist.

2.3 Bierschaum

Eines der üblichsten Experimente ist das Bierschaumexperiment, bei dem Bier langsam in ein zylindrisches Glas gegossen wird und das Volumen (die Höhe) des Schaums im zeitlichen Verlauf gemessen wird. Dieser Versuch wird oft dazu verwendet, die exponentielle Abnahme zu begründen. Es zeigt sich jedoch bei genauer Analyse, dass die Abnahme des Schaumvolumens nicht nur auf einen exponentiell abfallenden Faktor zurückzuführen ist, sondern auf drei. Zum Zerfall trägt das Fließen der Flüssigkeit, die Veränderung der Bläschengröße und die Verdunstung bei [6]. Ein Vorteil dieses Analogieexperiments besteht darin, dass der „Zerfall“ eines Bläschens tatsächlich von der Zeit abhängt und nicht bei einem (diskreten) Wurf stattfindet. Allerdings ist bei diesem Versuch nicht gewährleistet, dass die Wahrscheinlichkeit für einen „Zerfall“ für jedes Bläschen gleich ist.

2.4 Andere Analogien

Neben Münzen und Würfeln gibt es noch viele andere Analogien, um Schüler*innen in das Thema Radioaktivität und Halbwertszeit einzuführen. McGeachy stellt eine Analogie vor, die der Münzanalogie ähnelt [7]. Sie hat allerdings eine größere Komplexität: Ein großer Beutel enthält mehrere hundert verschiedenfarbige Pokerchips. Eine bestimmte Anzahl (z. B. 100) von Chips werden auf einmal aus der Tüte genommen. Ein blauer Chip entspricht einem Klick auf einem GM-Zähler bei einem stabilen Niveau der Hintergrundstrahlung. Ein roter Chip steht für einen Klick auf einem GM-Zähler durch ein Atom der radioaktiven Probe, das zerfällt (er wird durch einen grünen

Chip ersetzt, wenn er gezogen wird). Ein grüner Chip ist ein Atom aus der radioaktiven Probe, das bereits zerfallen ist (und daher nicht zum Gesamtwert auf dem GM-Zähler beiträgt). Mit dieser Analogie können verschiedenen Zusammenhänge dargestellt werden, z. B. dass ein Kern nicht zerfällt, sondern umgewandelt wird u. v. a. m. Sie ist aber dementsprechend komplex.

Eine andere Analogie ist die Verwendung von Reißnägeln. Wie mit Münzen oder mit Würfeln kann auch mit Reißnägeln „geworfen“ werden. In dieser Analogie wird der „Zerfall“ dadurch dargestellt, dass der Reißnagel auf seiner flachen Seite landet. Der Vorteil dieser Analogie besteht darin, dass die „Zerfallswahrscheinlichkeit“ nicht a priori bekannt ist, sondern anhand experimenteller Ergebnisse bestimmt werden muss. Wie bei Würfeln haben Reißnägel gegenüber Münzen den Vorteil, dass die Halbwertszeit nicht einfach nur 1 Wurf beträgt, da die Wahrscheinlichkeit, dass der Reißzwecken auf der flachen Seite landet, nicht 1/2 ist.

Das Unterrichtskonzept von Jansky verwendet eine Reihe von Analogien wie Reißzwecken und Halbkugeln und setzt dann auf das Springen von Springblobbs, um eine Zeitabhängigkeit des Zerfalls zu betonen. [2]

3. Welche Analogie ist die beste?

Wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, ist keine Analogie frei von Nachteilen. Analogien sind niemals vollständige Beschreibungen der Realität, und es ist wichtig, dass die Schüler*innen nicht fälschlicherweise denken, dass sie dies tun. Um die Grenzen von Analogien zu betonen, kann es auch produktiv sein, mehrere Analogien zu verwenden. Durch die Verwendung von Münzen und Würfeln als alternative Analogien (oder Würfeln mit unterschiedlichen Regeln, z. B. dass ein Zerfall bei einer „4“ ODER einer „5“ eintritt) kann den Lernenden deutlich gemacht werden, dass die Dauer einer Halbwertszeit je nach Atomkern unterschiedlich ist.

Die meisten dieser Analogien können kostengünstig durchgeführt werden. Für münzbasierte Analogien ist jede Münze geeignet, und 100 Münzen reichen aus, so dass sich die Kosten auf 1 Euro belaufen. Einhundert kleine Würfel können online für ein paar Euro gekauft werden. Das Bierschaumexperiment ist ebenfalls leicht und kostengünstig durchführbar. Springblobbs sind ebenfalls leicht beschaffbar, nach unserer Erfahrung kann man im Versandhandel für ca. 10 Euro schon 10 Stück oder mehr erwerben, wobei nach unserer Erfahrung größere (und damit teurere) „Popper“ besser funktionieren.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile gängiger Analogien

Analogie	Vorteile	Nachteile	„Zerfalls“-Wahrscheinlichkeit eines Objektes
Münzwurf	<ul style="list-style-type: none"> • Leicht durchzuführen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verwechslung von 50 % Zerfallswahrscheinlichkeit und 50 % bei der Halbwertszeit • Schülervorstellung: Die Masse nimmt ab • Diskreter Vorgang 	1/2
Würfelwurf	<ul style="list-style-type: none"> • Leicht durchzuführen • Zerfallswahrscheinlichkeit ist nicht 1/2 	<ul style="list-style-type: none"> • Schülervorstellung: Die Masse nimmt ab • Diskreter Vorgang 	1/6
Wurf mit Pokerchips	<ul style="list-style-type: none"> • Man kann die Umwandlung zeigen. • Zerfallswahrscheinlichkeit ist nicht 1/2 	<ul style="list-style-type: none"> • Diskreter Vorgang • Halbwertszeit ist schwer zu bestimmen 	Anpassbar
Andere Würfel	<ul style="list-style-type: none"> • Zerfallswahrscheinlichkeit ist nicht 1/2 	<ul style="list-style-type: none"> • Schülervorstellung: Die Masse nimmt ab • Diskreter Vorgang 	Abhängig von der Geometrie der Objekte
Reißnägel	<ul style="list-style-type: none"> • Leicht durchzuführen • Zerfallswahrscheinlichkeit ist nicht 1/2 • Zerfallswahrscheinlichkeit muss experimentell bestimmt werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Schülervorstellung: Die Masse nimmt ab • Diskreter Vorgang 	Abhängig von der Geometrie der Reißnägel
Bierschaum	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierlicher Vorgang • Relativ leicht durchzuführen • Interessant für Lernende 	<ul style="list-style-type: none"> • Physikalisch fragwürdige Analogie • Der Zusammenhang zwischen der Zerfallswahrscheinlichkeit und der Halbwertszeit ist nur schwer herzustellen. 	
Regentropfen	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierlicher Vorgang 	<ul style="list-style-type: none"> • Es ist kaum eine Halbwertszeit zu bestimmen. 	
Popcorn	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierlicher Vorgang • Leicht durchzuführen 	<ul style="list-style-type: none"> • Es ist kaum eine Halbwertszeit zu bestimmen 	
Springblobbs	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierlicher Vorgang • Leicht durchzuführen • Der Zerfall eines einzelnen „Kerns“ ist leicht nachzuvollziehen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei mehreren Spingblobbs relativ schwer durchzuführen. 	
100 Menschen in einem Raum mit je einem Würfel	<ul style="list-style-type: none"> • Kontinuierlicher Vorgang • Leicht zu erkennen, dass man nach einer Halbwertszeit nicht eine halbe Münze haben kann. • Mehrere „Zerfälle“ können gleichzeitig stattfinden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Schülervorstellung: Die Masse nimmt ab • Freier Wille 	

Will man (z. B. aus Zeitgründen) nur eine Analogie für den Unterricht verwendet werden, so sollte Folgendes überlegt werden: Wie wir bereits erörtert haben, ist die alleinige Verwendung von Münzen problematisch. Würfel sind in dieser Hinsicht vorzuziehen. Obwohl häufig davon ausgegangen wird, dass die Schüler*innen die diskreten Ereignisse des Münzwurfs oder des Würfels leicht auf den kontinuierlichen Fall übertragen können, hat Jansky in ihrer Doktorarbeit gezeigt, dass dies häufig nicht der Fall ist [2]. Bei der Analogie, bei der die Personen in einem Raum entscheiden, wann sie innerhalb eines 100-Minuten-Intervalls würfeln, ist die Zeit ebenfalls eine kontinuierliche Variable (statt einer diskreten Anzahl von Würfeln wie bei den anderen Würfelanalogien), und es ist für die Lernenden leicht zu erkennen, dass es eine Halbwertszeit

gibt. Bierschaum scheint sogar noch vorteilhafter zu sein, da die Frage des freien Willens wegfällt und es nur ein Zufallselement gibt (den Zeitpunkt, an dem die Blase platzt). Wie erläutert gibt es aber hier grundlegende Schwierigkeiten bei der Frage der Angemessenheit der Analogie.

Es gibt also nicht die eine, eindeutig beste Analogie. Und es gibt auch bisher nur wenig fachdidaktische Forschung. Wir ermutigen Sie hier, eigene Erfahrungen mit den verschiedenen Analogien zu machen. Wir freuen uns insbesondere über weitere Analogien aus ihrer Unterrichtspraxis.

Michael M. Hull *University of Fairbanks, Alaska*
Martin Hopf *Universität Wien*

Exkurs: Eine mathematische Randbemerkung über den exponentiellen Zerfall von Würfeln und Münzen

Der radioaktive Zerfall von Atomkernen wird mit der bekannten Gleichung

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1),$$

beschrieben. Dabei ist $N(t)$ die Zahl der noch vorhandenen Kerne, N_0 die anfängliche Zahl der Kerne und λ die Zerfallskonstante. Dann ist λdt die Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelner Kern im nächsten Zeitintervall dt zerfallen wird. Hat man nicht nur einen Atomkern, sondern viele Atomkerne (zum Anfang N_0), zerfallen $dN = \lambda N dt$ im nächsten dt . Löst man diese Differenzialgleichung, erhält man (1).

Um diese Gleichung auch auf Würfel (oder Münzen) anwenden zu können, müssen einige Aspekte beachtet werden. Wir haben die Erfahrung gemacht, dass dies immer wieder zu Verwirrung führt, und diskutieren es daher im Folgenden etwas genauer.

Im Falle von Würfeln stellen wir nun die Wahrscheinlichkeit p , dass ein einzelner Würfel beim nächsten Wurf „zerfällt“, mit $p = \lambda \Delta t$ dar, wobei $\Delta t = 1$ Wurf ist. Bei einem sechsseitigen Würfel, der nur beim Wurf einer 4 „zerfällt“, ist beispielsweise $\lambda \Delta t = 1/6$. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein einzelner Würfel beim nächsten Wurf nicht zerfällt, ist gegeben durch $(1 - \lambda \Delta t)$. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Würfel zwei Würfe überlebt, ist $(1 - \lambda \Delta t)^2$ und die Wahrscheinlichkeit, dass er n Würfe überlebt $(1 - \lambda \Delta t)^n$.

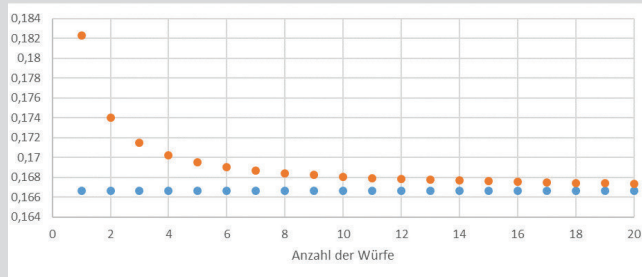


Abb. 1: Eine feste Zeit wird in n Zeitintervalle geteilt und jeweils die Zerfallskonstante λ berechnet (orange). Zum Vergleich ist jeweils die Wahrscheinlichkeit des Zerfalls ($1/6$) eingezeichnet (blau).

Aber: Wie hängt das nun mit (1) zusammen? Dazu müssen wir die Zeit t einführen. Diese Zeit t teilen wir in n Zeitintervalle Δt auf, also $\Delta t = t/n$. In diesem Modell ist t **nicht** die Anzahl der Würfe, sondern die Zeit des Experiments. Die Zahl der Würfe ist n . Diese lassen wir nun immer größer werden. Im Grenzübergang unendlich vieler Würfe in der Gesamtzeit t ergibt sich:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \lambda \frac{t}{n}\right)^n = e^{-\lambda t}$$

Aber: Erst im Grenzübergang ist gleich der Wahrscheinlichkeit des Zerfallens eines Würfels. Bei der in der Schule üblichen Anzahl von Würfeln (und nebenbei auch bei der Verwendung sechsseitiger Würfel) gibt es hier deutliche Unterschiede zwischen den realen Daten und den erwarteten Werten [8]. Bei diskreten Zeitschritten bei Würfelwürfen ist der „Trick“ der Unterteilung eines Zeitintervalls in unendlich kleine Teilintervalle eigentlich nicht zulässig und die Näherung versagt, zumindest bei kleinem n . Dies liegt im Wesentlichen daran, dass die Würfel in diskreten Schritten zerfallen, ein radioaktiver Zerfall aber kontinuierlich stattfindet.

Um das auch mathematisch sauber zu begründen, muss man eine konstante Zeit annehmen und dann die Zahl der kleinen Zeitintervalle, in die man die Gesamtzeit teilt, gegen unendlich gehen lassen (Abb. 1) [8]. Die Näherung wird auch besser, wenn im diskreten Fall kleinere Wahrscheinlichkeiten verwendet werden, also Würfeln mit einer höheren Anzahl von Seiten (Abb. 2)

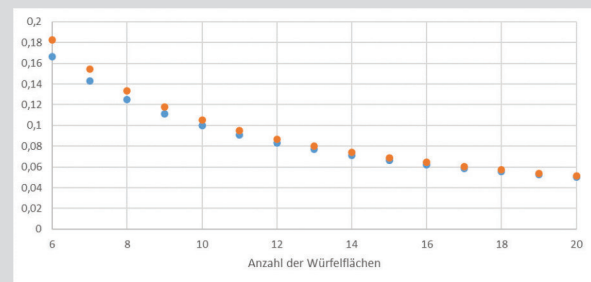


Abb. 2: Für verschiedene Würfel wird jeweils die Zerfallskonstante λ (orange) und die Zerfallswahrscheinlichkeit p (blau) berechnet.

Literatur

- [1] Gamow G. Zur Quantentheorie des Atomkernes. Z. Physik 1928; 51:204-212; Gurney R, Condon E. Wave Mechanics and Radioactive Disintegration. Nature 1928; 122: 439.
- [2] Jansky A., Hopf M. Radioaktivität und Zufall – eine forschungsbasierte Unterrichtskonzeption. Im vorliegenden Heft.
- [3] Prather E. Students' beliefs about the role of atoms in radioactive decay and half-life. J Geosc Ed 2005; 53.4: 345-354
- [4] Hull MM, Hopf M. Student understanding of emergent aspects of radioactivity. IJPCE 2020; 12.2: 19-33.
- [5] Man könnte natürlich die Würfel auch so einsetzen, dass sie beim Wurf einer geraden Zahl „zerfallen“. Dann gibt es aber keinen Vorteil der Verwendung von Würfeln gegenüber Münzen mehr.
- [6] Wilhelm T, Ossau W. Bierschaumzerfall-Modelle und Realität im Vergleich. PdN-PiDS 2009; 58: 19-26
- [7] McGeachy F. Radioactive Decay-An Analog. PhysTeach. 1988; 26: 28-9
- [8] Kowalski, L. Radioactivity and nuclear clocks. PhysTeach 1976; 14: 409-16, Murray, A, Hart, I. The 'radioactive dice' experiment: why is the 'half-life' slightly wrong? PhysEd 2012; 47: 197ff

Wann ist der beste Zeitpunkt, um den Zerfall eines radioaktiven Kerns zu beobachten?

Michael M. Hull und Martin Hopf

1. Einführung

Was denken Schüler*innen eigentlich über Radioaktivität? Das ist seit langem Gegenstand fachdidaktischer Forschung. Es hat sich dabei bewährt, u. a. offene Fragen zu stellen, um ins Gespräch mit Lernenden zu kommen. Eine Interviewfrage, über die wir in der Vergangenheit viel diskutiert haben, stammt aus der Dissertation von Jansky:

„Stell dir vor, du hast einen Kern in einem Käfig gefangen. Du weißt er wird irgendwann unter Aussendung eines α -Teilchens zerfallen. Du gehst jeden Tag um 5 Uhr vorbei und beobachtest den Kern für eine Minute. Ist es wahrscheinlicher, dass er heute um 5 oder morgen um 5 zerfällt?“ [1, S. 89]

2. Was denken Schüler*innen?

Mit dieser Frage und mit Variationen dieser Frage haben wir noch weitere Untersuchungen durchgeführt [2]. Stets geht es um die Grundidee „Zu welchem Zeitpunkt beobachtet man den Zerfall eines radioaktiven Atoms mit einer Halbwertszeit von 4 Tagen am besten?“. Dabei hat sich besonders gut der Einsatz eines Concept Cartoons bewährt (s. Abb. 1). In den verschiedenen vorgegebenen Antworten haben wir versucht, typische Antworten, die wir immer wieder von Schüler*innen aus der 12. Schulstufen erhalten haben, abzubilden.



Abb. 1: Concept Cartoon: Wann beobachtet man den Zerfall am besten?

In Interviews geht es natürlich nicht darum, diese Frage mit elaborierten mathematischen Überlegungen zu beantworten. In der Regel argumentieren Schüler*innen entweder so, dass es zufällig ist, wann der Atomkern zerfällt. Dann wird gefolgert, dass es keine Rolle spielt, wann man zur Beobachtung geht. Oft erhält man aber auch als Antwort, dass die (in der Aufgabe vorgegebene Halbwertszeit) genannt wird (z. B. „der Tag kurz vor der Halbwertszeit“). Gerade solche Antworten kommen verblüffend häufig vor: Schüler*innen ordnen der Halbwertszeit

eine viel wichtigere Rolle bei der Vorhersage des zukünftigen Verhaltens des Atomkerns zu, als sie in Wirklichkeit hat.

3. Was stimmt eigentlich?

Um ehrlich zu sein, wir haben einige Zeit darüber diskutiert, was denn nun die richtige Antwort ist. Einerseits ist es ja richtig, dass der radioaktive Zerfall völlig zufällig ist. So gesehen, sollte es eigentlich egal sein, wann wir zum Zusehen kommen. Andererseits ist es auch plausibel, möglichst schnell zu beobachten. Schließlich wird der Kern sowieso zerfallen und so sollte die Chance den Kernzerfall zu erleben stetig abnehmen.

Diese scheinbare Paradoxie löst sich auf, wenn man sich verschiedene Fälle überlegt. Legt man einen Tag im Voraus zur Beobachtung fest, so gibt es drei Möglichkeiten: 1) das Atom wird an diesem Tag zerfallen, 2) das Atom wird an diesem Tag nicht zerfallen, oder 3) das Atom ist bereits vorher zerfallen. Und ja, die besten Chancen, den Kernzerfall zu beobachten hat man direkt am Anfang, und die Chancen werden mit jedem weiteren Tag schlechter. Tatsächlich ist der erste Tag auch die beste Wahl, um den Kern, aber nicht den Zerfall, zu beobachten. Und trotzdem ist natürlich die Wahrscheinlichkeit eines Zerfalls in jedem Moment gleich groß.

Um das nachzuvollziehen, muss man mit bedingter Wahrscheinlichkeit argumentieren. Wir stellen die Überlegung im diskreten Fall vor (da dieser nach unserer Meinung auch leichter in der Schule zu vermitteln ist, falls man das möchte). Das Argument gilt aber genauso, wenn man den kontinuierlichen Fall betrachtet.

Wir nennen p die Wahrscheinlichkeit, dass unser Atomkern am nächsten Tag zerfällt. Damit ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Atomkern am Tag nach seiner Erzeugung zerfällt, gleich p . Entsprechend ist die Wahrscheinlichkeit, dass er am ersten Tag nicht zerfällt, gleich $(1 - p)$.

Nun wollen wir berechnen, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass der Kern am zweiten Tag zerfällt. Das geht nur, wenn er am ersten Tag nicht zerfallen ist und genau am zweiten Tag zerfällt. Die Wahrscheinlichkeit dafür ist $(1 - p) \cdot p$. In der Stochastik handelt es sich dabei um eine bedingte Wahrscheinlichkeit. Wir haben hier die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses „Der Kern ist am ersten Tag nicht zerfallen und er zerfällt am zweiten Tag“ berechnet. Weil p kleiner als 1 ist, ist $(1 - p) \cdot p$ kleiner als p .

Unabhängig davon ist aber die Zerfallswahrscheinlichkeit des Kerns unverändert gleich p .

Und nebenbei: Die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses „Der Kern zerfällt am zweiten Tag nicht“ ist gleich $(1 - p)^2$. Dies ist ebenfalls kleiner als $(1 - p)$. Es ist also wahrscheinlicher, den Kern am ersten Tag zu sehen als am zweiten Tag.

Man kann das genauso für jeden weiteren Tag ableiten. Stets gilt: Die Wahrscheinlichkeit des Zerfalls des Atomkerns ist konstant. Aber damit ich einen Atomkern am i -ten Tag zerfallen sehen kann, ist es notwendig, dass er an den vorhergegangenen Tagen nicht zerfallen ist. Und da die Wahrscheinlichkeit immer geringer wird, überhaupt noch einen Atomkern anzutreffen, wird auch die Wahrscheinlichkeit, einen Zerfall zu beobachten, immer geringer.

Man kann das ganze Argument übrigens ganz analog im kontinuierlichen Fall durchrechnen. Dann muss mit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des radioaktiven Zerfalls gearbeitet werden.

Literatur

[1] Jansky, A. Die Rolle von Schülervorstellungen zu Wahrscheinlichkeit und Zufall im naturwissenschaftlichen Kontext, Dissertation Universität Wien 2019.

Am ehesten hat also Schüler*in B im Concept Cartoon recht. Schüler*in D gibt zwar eine richtige Antwort. Die Begründung lässt aber darauf schließen, dass er*sie glaubt, dass ein radioaktives Atom sofort nach der Erzeugung zerfallen wird, vielleicht, weil es eine so kleine Menge ist. Hier fehlt ein Verständnis dafür, dass der Zerfall auch erst viel später stattfinden könnte. Schüler*in A erwartet fälschlicherweise, dass das Atom nach genau einer Halbwertszeit zerfällt. Und Schüler*in C überträgt das Verhalten einer Menge von Atomen auf das Verhalten eines einzigen Atoms.

Danksagung

Wir danken Shizuka Nakayama für die in Abbildung 1 verwendete Grafik.

Michael M. Hull arbeitete bis August 2022 an der Universität Wien im Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik als Postdoc. Seit September 2022 ist er Professor an der University of Fairbanks, Alaska.

Martin Hopf leitet das Österreichische Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik an der Universität Wien.

[2] Hull, MM, Hopf, M. Student understanding of emergent aspects of radioactivity. IJPCE 2020; 12.2: 19-33

Nukleare Bedrohungsszenarien und Zivilschutz

Rudolf Engelbrecht und Marianne Korner

1. Einleitung

Es ist Ende April. Ein warmer Frühlingstag, draußen vor dem Fenster blühen die Kastanien. Lernen für die Matura. Die x-te Kurvendiskussion und dann nochmal eine Extremwertaufgabe. Im Hintergrund klingt Springsteens „My Hometown“ aus einem 25 Jahre alten Weltempfänger, eingestellt auf einen amerikanischen Militärsender in Berlin. 17:00 Uhr, die Nachrichten: „UdSSR schlägt im letzten Spiel der Eishockey-WM in Moskau Schweden und wird ungeschlagen Weltmeister“. Ja, tolle Leistung. Dann nochmal eine Nachricht zu Schweden und UdSSR: „Im schwedischen Kernkraftwerk Forsmark wurden erhöhte Radioaktivitätswerte gemessen. Nach eingehender Untersuchung der Umstände kommt die schwedische Aufsichtsbehörde zum Schluss, dass es in einem Kernkraftwerk im Süden der UdSSR einen Unfall gegeben haben muss.“ Es ist der 28. April 1986, in Österreich läuft der Präsidentschaftswahlkampf, Hauptthema ein Pferd, und in Chernobyl versucht man seit zwei Tagen den schwersten Unfall in der Geschichte der friedlichen Nutzung der Kernenergie einzudämmen, während westliche Expert*innen kaum die Folgen für Europa abschätzen können, da zu wenig Informationen über den Reaktortyp, mögliche Unfallszenarien und Modellierungen der möglichen Ausbreitung der radioaktiven Wolke verfügbar sind. Wie wäre das heute?

2. Nukleare Bedrohungsszenarien

Im Folgenden werden für den Fall einer drohenden Belastung durch ionisierende Strahlung mögliche Szenarien dargestellt, die zur Ermittlung des erforderlichen Schutzbedarfs und der dafür notwendigen Ausrüstung sowie der möglichen Maßnahmen zum Schutze der österreichischen Bevölkerung dienen.

Dabei wird die Frage der zu erwartenden Belastung intensiver und genauer behandelt als die Frage der Wahrscheinlichkeit des jeweiligen Falls. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass für die Planung und Vorbereitung für Einsatzfälle das Szenario und die daraus resultierende Strahlenbelastung von großer Bedeutung sind und nicht so sehr die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines bestimmten Falls.

Das Geschäftsfeld Strahlenschutz der AGES (Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit) hat im Fall eines schweren Unfalls mit Radioaktivitätsfreisetzung die Aufgabe, im Auftrag des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) und des Bundesministeriums für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (BMSGPK) Umwelt, Lebensmittel und Importe messtechnisch zu kontrollieren, um die Auswirkungen zu überwachen und die österreichische Bevölkerung zu

schützen. Die Bewertung der Situation, Prognose der möglichen Auswirkung auf das österreichische Bundesgebiet und das Setzen von Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen auf die österreichische Bevölkerung ist eine der Aufgaben der Abteilung Strahlenschutz im BMK.

2.1 Kernwaffen

Kernwaffendetonationen sind dadurch charakterisiert, dass durch die Detonation eine Druckwelle entsteht, die zu Gebäudezerstörungen führt, dass weiters eine intensive Hitzestrahlung zu Flächenbränden führt und außerdem aus dem Zentrum der Detonation eine äußerst intensive harte Gammastrahlung sowie Neutronenstrahlung ausgesendet wird, die aufgrund der hohen Energie der Strahlung schwieriger abschirmbar ist als die Strahlung aus dem Fallout. Bei Reaktorunfällen kommen solche Effekte nicht vor (vgl. Tabelle 1), sie bedürfen eines besonderen Schutzes, der nicht Gegenstand dieses Beitrags ist und daher hier nicht weiter behandelt werden soll.

Tabelle 1: Unterschiede zwischen Kernwaffendetonation und einem extremen Kernkraftwerksunfall

Wirkung	Kernwaffen- detonation	Kernkraftwerksunfall
Druckwelle	bis 1,5 - 10 km	keine Druckwelle
Hitzestrahlung, Flächenbrände	bis 1,6 - 15 km	keine Brände
Direktstrahlung	bis 1,5 - 3 km	nur am KKW-Gelände
Anfangsdosisleistung aus Fallout (Rückstandstrahlung)	1000 - 3000 mSv/h in 10 bis 120 km Entfernung *	0,1 mSv/h in 30 km Entfernung
Abklingverhalten, mittlere Halbwertszeit, Beginn	3,6 h	78 h
nach 1 Monat	13 d	40 d
Aufenthalt im Freien zur Lebensmittelvesorgung	2-3 Wochen nicht möglich Vorsorge von Lebensmittel erforderlich	bis ~4 km nicht möglich, außerhalb für Erwachsene möglich
Trinkwasserversorgung	möglicherweise Leitungen zerstört, Vorsorge erforderlich	funktioniert, keine Vorsorge erforderlich

Nach dieser, nur kurze Zeit andauernden Aussendung von intensiver Initialstrahlung, kommt es zu einer Ausbreitung von radioaktiven Partikeln in Form einer radioaktiven Wolke. Sie besteht aus den Spaltprodukten, die bei der Detonation entstehen und bei bodennahen Detonationen zusätzlich aus aktivierten Bodenpartikeln: Der Neutronenfluss bei der Detonation kann stabile Nuklide der Elemente des Erdbodens (wie z. B. Si, Mg, Fe, ...) zu instabilen werden lassen [1]. Kernwaffendetonationen sind im Vergleich zum Reaktorunfall dadurch charakterisiert,

dass alle entstandenen Spaltprodukte sofort freigesetzt werden, während es einem Kernreaktor nach und nach zur Freisetzung kommt. Im Verhältnis zu den Spaltprodukten in einem Kernreaktor ist allerdings der Anteil der Spaltprodukte mit kurzen Halbwertszeiten wesentlich höher, sodass anfänglich eine viel höhere Strahlendosisleistung auftritt, in der Folge jedoch ein schnelleres Abklingen der Aktivität und damit der Strahlenwerte gegeben ist. Die Dosisleistung klingt anfänglich mit einer mittleren Halbwertszeit (über alle beteiligten Nuklide gemittelt) von etwa 15 Stunden bei Bodendetonationen, bzw. 3,6 Std. in der Anfangsphase bei Luftdetonationen ab. Dies ist erheblich schneller als beim Fallout aus einem Kraftwerksreaktorunfall, wo die mittlere Halbwertszeit etwa 78 Stunden beträgt.

Als Folge des hohen Anteils an Spaltprodukten mit kurzen Halbwertszeiten ist der wesentliche Teil der Strahlenexposition in der Anfangsphase gegeben. Die Dosis durch externe Strahlung aus der Wolke und von am Boden abgelagerten Radionukliden liefert somit den überwiegenden Beitrag zur Dosis, wobei – anders als beim Reaktorunfall – ein Großteil der Dosis bereits in den ersten Tagen und Wochen empfangen wird.

Ein weiterer nicht unwesentlicher Beitrag zur Gesamtdosis kommt durch die Inhalationsdosis. Der Dosisbeitrag durch Ingestion ist jedoch im Vergleich zu den anderen Belastungspfaden gering, da Radionuklide mit kurzen Halbwertszeiten nur zu nennenswerten Aktivitätskonzentrationen in direkt kontaminierten Nahrungsmitteln führen können, während Nahrungsmittel, die durch Verfüttern von kontaminiertem Futter kontaminiert werden (Milch, Fleisch), geringere Aktivitätskonzentrationen aufweisen. Außerdem ist der Anteil langlebiger Radionuklide im Fallout geringer als beispielsweise bei einem Reaktorunfall.

Der Aktivitätsanteil durch ^{137}Cs an der Gesamtaktivität im Fallout einer Kernwaffe beträgt nur etwa 0,00005 - 0,0006 %, während er im Fallout eines Reaktorunfalls etwa 0,9 % beträgt. ^{134}Cs ist im Kernwaffenfallout überhaupt nicht zu finden, sodass die beiden langlebigen Nuklide relativ zur Gesamtaktivität des Fallouts etwa 4.000 - 50.000-fach niedriger liegen als bei einem Reaktorunfall. In absoluten Zahlen ist der Unterschied zwischen Cäsium aus dem Kernwaffen- oder durch den Reaktorunfall verursachten Fallout nicht so groß, da die gesamte Dosisleistung bei der Kernwaffe etwa 10.000-fach höher ist als beim gravierendsten Reaktorunfall. Aus dem großen relativen Unterschied folgt jedoch, dass die Langzeitwirkung bei der Kernwaffe geringer ist als beim Reaktorunfall und die Nahrungsmittelkontamination beim Kernwaffenfallout einen, im Vergleich zur Direktstrahlungsdosis, unbedeutenderen Stellenwert besitzt als beim Reaktorunfall.

Dies gilt allerdings nur für den lokalen Fallout. Beim weltweiten Fallout nach Kernwaffendetonationen überwiegt der Fallout von ^{90}Sr und ^{137}Cs . So betrug der weltweite Fallout an ^{137}Cs nach den Kernwaffentests der Sechzigerjahre etwa 100 PBq und lag damit etwa 25-fach über dem des Reaktorunfall Tschernobyls,

die weltweite ^{90}Sr -Ablagerung lag sogar um das 60-fache höher als nach Tschernobyl. Für die hier interessierenden Strahlenschutzmaßnahmen ist jedoch der lokale Fallout von Bedeutung, sodass die weltweiten Unterschiede nicht weiter behandelt werden.

2.2 Kernkraftwerke

Bei Kernkraftwerksunfällen gibt es bekanntlich die bei Kernwaffen gegebenen Akutwirkungen (Detonationswirkung, Hitze-strahlung, Flächenbrände) nicht. Auch die hohe Direktstrahlung, wie bei Kernwaffendetonationen üblich, fehlt. Eine Abschirmung diesbezüglich ist daher ebenso wenig erforderlich wie ein Schutz gegenüber Flächenbränden oder der Druckwelle. Schutzräume mit hohen Schutzwerten, wie bei der Kernwaffe erforderlich, sind daher bei Kernkraftwerksunfällen nicht gefordert.

Zum Unterschied von einer Kernwaffendetonation wird bei einem Kernreaktorunfall mit Kernschmelze nur ein geringer Teil der im Kern vorhandenen Spaltprodukte freigesetzt, nämlich jene Spaltprodukte, die bei den erreichten hohen Kerntemperaturen flüchtig sind. Dies sind im Wesentlichen die Edelgase Krypton und Xenon sowie einige andere leichtflüchtige Nuklide wie die Jod-, Tellur- und Cäsiumisotope. Eine genauere Darstellung des zu erwartenden Freisetzunganteils der einzelnen Spaltprodukte aus dem Kerninventar wird später gegeben.

Dadurch ergibt sich beim Reaktorunfall auch unter gravierendsten Bedingungen eine wesentliche geringere Dosisleistung (externe Strahlung) im Freien als durch die Rückstandsstrahlung bei einer Kernwaffendetonation. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, ist die Dosisleistung nach einer Kernwaffendetonation auch außerhalb der Akutbedrohungszone durch Direktstrahlung, Hitzestrahlung und Detonationswirkung noch immer sehr hoch. Sie liegt um etwa das 10.000-fache höher als beim schwersten Reaktorunfall mit der höchsten, überhaupt möglichen Freisetzung.

Dabei wurde angenommen, dass bei einem solchen Reaktorunfall keine Reduktion der Aktivitätsfreisetzung durch ein Containment oder ein Barbotaschsystem gegeben ist, sondern, analog dem Reaktorunfall in Tschernobyl, ein promptes Versagen des Gebäudeabschlusses zu einer maximalen Freisetzung der im Kern vorhandenen ionisierenden Strahlungsarten und radioaktiven Nuklide in die Umgebung führt. Ein Containment ist im Wesentlichen eine Stahl- und/oder Betonkonstruktion um den Reaktor. Die zweite Generation des sowjetischen Reaktortyps WWER besitzt hingegen ein Barbotaschsystem, das sind hohe Türme, in denen im Falle des Freiwerdens radioaktiven Dampfes dieser kondensieren soll [2]. Bei Leichtwasserreaktoren, wie sie ausschließlich in der unmittelbaren Umgebung Österreichs zu finden sind, ist ein solcher Unfall mit Containmentzerstörung unmittelbar nach dem letzten Betrieb in der Anfangsphase des Unfalls extrem

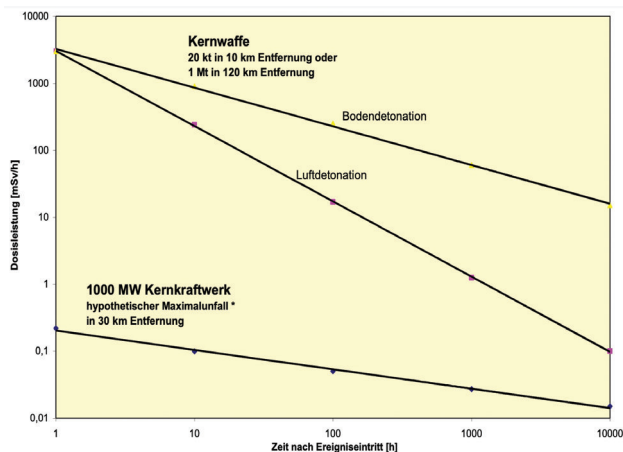


Abbildung 1: Dosisleistung durch Fallout nach einer Kernwaffendetonation im Vergleich zu einem Kernkraftwerksunfall. Alle Skalen sind logarithmisch. [3]

unwahrscheinlich. Selbst in Jaslovské Bohunice Block 1 und 2, die weder Containment noch Barbotaschsystem besitzen, ist mit einer unmittelbaren Freisetzung nicht zu rechnen, sodass auch hier die freigesetzte Aktivität vermutlich niedriger liegen dürfte.

Die nukleare Option zur elektrischen Stromerzeugung wird derzeit in 18 Staaten in Europa genutzt. Allein in einem Umkreis von 200 km von Österreichs Grenzen sind derzeit 28 Kernkraftwerke in Betrieb (Tabelle 2).

Tabelle 2: Kernkraftwerke rund um Österreich. Quelle: [3]

KRAFTWERK	Anzahl	in	Entfernung von Österreich [km]	TYPE
Dukovany 1-4	4	CZ	35	WWER-440/213
Temelin	2	CZ	42	WWER-1000/320mod
Bohunice 1-2	2	SK	50	WWER-440/230
Bohunice 3-4	2	SK	50	WWER-440/213
Isar II	1	D	65	DWR
Krsko	1	SLO	90	DWR
Mochovce 1-2	2	SK	100	WWER-440/213mod
Leibstadt	1	CH	105	SWR
Gösgen	1	CH	105	DWR
Beznau 1-2	1	CH	110	DWR
Gundremmingen C (Stilllegung 2021)	2	D	170	DWR
Fessenheim 1-2 (Stilllegung 2020)	2	F	175	DWR
Neckarwestheim 1-2	2	D	180	DWR
Paks 1-4	4	H	185	WWER-440/213

Wie aus dieser Tabelle 2 ersichtlich ist, gibt es unter den grenznahen Kernkraftwerken verschiedene Typen. Im Wesentlichen kann man 2 Arten unterscheiden: Siedewasserreaktoren (SWR) und Druckwasserreaktoren (DWR). Die Druckwasserreaktoren russischer Bauart haben die Bezeichnung WWER (Wassergekühlter, Wassermoderierter Energie-Reaktor). Je nach

der Leistung dieser Reaktoren unterscheidet man WWER-440 und WWER-1000 Reaktoren. Die erste Generation von WWER-Reaktoren, die ab 1972 mit einer Leistung von 440 MW errichtet wurde, hat die Modellnummer 230, die ab 1977 gebaute folgende Generation die Modellnummer 213. In Europa wurden außerdem noch gasgekühlte Reaktoren, Schwerwasser-Reaktoren und Druckröhren-Reaktoren (RBMK, „Tschernobyl-Typ“) errichtet. Diese Typen unterscheiden sich in der Konzeption, im Betriebs- und im Störfallverhalten. Die Sicherheitseinrichtungen unterscheiden sich nicht nur durch den Typ, sondern auch durch die Baureihe.

Trotz der sehr pessimistischen Annahmen bezüglich der Kernbeschädigung und des Versagens aller weiteren Sicherheitshüllen um den Reaktorblock ergeben sich im kritischsten Fall in 30 km Entfernung vom Kraftwerksreaktor nur Dosisleistungen von etwa 0,1 mSv/h. Im Gegensatz dazu ergeben sich bei einer Kernwaffe von 20 kt (Hiroshimabombe) in 20 km Entfernung noch Dosisleistungswerte, die für Personen, die sich ungeschützt im Freien aufhalten, Letaldosiswerte bedeuten. Bei einer Wasserstoffbombe mit 1 Mt ergeben sich solche Letaldosiswerte noch in 120 km Entfernung. Bei einem Reaktorunfall liegen die Dosisleistungswerte erheblich niedriger. Mit Ausnahme einer kleinen Zone um den Reaktor können keine Dosiswerte auftreten, die zu akuten Todesfällen führen könnten. Schutzräume sind daher nicht im gleichen Maße erforderlich wie bei einem Kernwaffeneinsatz.

2.3 Kernwaffen und Unfälle in Kernkraftwerken im Vergleich

Wegen der viel niedrigeren Dosisleistungswerte ist beim Reaktorunfall – im Unterschied zur Kernwaffe – auch bei den maximal möglichen Dosisleistungswerten ein begrenzter Aufenthalt im Freien möglich. Da kaum mit einer Zerstörung der Trinkwasserleitung zu rechnen ist, hat die Trinkwasservorratshaltung bzw. -aufbereitung ebenfalls nur geringen Stellenwert, im Gegensatz zur Kernwaffendetonation, wo diese von hoher Bedeutung ist (Zerstörung der Trinkwasserleitungen, Kontamination des Wassers durch abgestorbene biologische Stoffe).

Weiters ergibt sich beim Kernkraftwerksunfall – zum Unterschied zu Kernwaffendetonationen – ein hoher Beitrag über die Ingestionsdosis, der bei einem Ereigniszeitpunkt im Sommer bis zu 94 %, im Winter noch immer etwa 3 % ausmachen kann.

Da beim Reaktorunfall ein relativ gesehen größerer Anteil an Spaltprodukten mit längerer Halbwertszeit freigesetzt wird als bei Kernwaffen, ist die Abnahme der Dosisleistung langsamer als beim Kernwaffenfallout. Die Dauer der Einwirkung ist daher länger als bei der Kernwaffe. Somit ist zwar kein Schutz gegen Akuttodesfälle erforderlich, jedoch Maßnahmen zur Reduktion des stochastischen Langzeitriskos (Risiko der Erhöhung der Rate an malignen Erkrankungen und genetischen Schäden).

Parameter, die den relativen aber auch den absoluten Beitrag der Expositionspfade bei einem Reaktorunfall erheblich beeinflussen, sind:

- Art des Ereignisses (KKW-Unfall, Brennelement-Lagerunfall, usw.),
- Unfallablauf (maximale Temperatur des Kerns, Kühlmöglichkeiten zu bestimmten Zeitpunkten des Unfallablaufs)
- Freisetzungparameter (Containmentfunktion, Wirksamkeit von Filtern zur Abluftreinigung wie Aerosol- oder Jodfilter, Einfluss des Sprinklersystems)
- Art und Menge der Deposition (Trocken-, Nassdeposition)
- Ereigniszeitpunkt (Jahreszeit, Bewuchsstand)

2.4 Quellterme

Die an die Umgebung abgegebene Menge radioaktiver Stoffe wird „Quellterm“ genannt. Sie ist durch Zusammensetzung, Menge und zeitlichem Verlauf definiert. Bei massiven Freisetzungen des Kerninventars können bis zu 60 Radionuklide (meist auch mehrere Isotope) freigesetzt werden. Der Quellterm ist vom Reaktortyp, vom Betriebszustand, von der Unfallsequenz und von den durchgeführten Gegenmaßnahmen abhängig.

Anhand eines WWER-1000 Reaktors werden nun für 2 Unfallkategorien die freigesetzten Aktivitäten berechnet. Es wird angenommen, dass der Unfall zu einem Zeitpunkt passiert, bei dem ein typischer Mischkern vorhanden ist. Das Inventar [3] für einen Mischkern wird so berechnet, dass ein Drittel des Kerns 1 Jahr bestrahlt wird, ein weiteres Drittel 2 Jahre bestrahlt wird und das letzte Drittel 3 Jahre bestrahlt wird.

Für Abbildung 1 wurde ein Unfall, der zur Freisetzungskategorie B führt und ein Unfall, der zur Freisetzungskategorie E führt, ausgewählt. Zur Freisetzungskategorie B gehören Unfälle, bei denen Überdruckversagen des Containments auftritt. Zur Freisetzungskategorie E gehören Unfälle, die ein mittleres Leck im Containment haben.

An dem nachfolgenden Beispiel wird der zeitliche Verlauf der Freisetzung unter Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls demonstriert. Ausgangspunkt ist wiederum ein Reaktor vom Typ WWER-1000, der zum Zeitpunkt des Unfalls einen Mischkern besitzt. Als Unfall wurde ein „Station-Blackout“-Szenario gewählt: Durch den Ausfall der Stromversorgung kann der Kern nicht mehr gekühlt werden. Die steigenden Temperaturen führen schließlich zu einem Schmelzen des Kerns, der auf die untere Kalotte des Druckbehälters fällt und diese durchschmilzt. Die Schmelze fließt nun auf den Beton der Auffangwanne und erodiert diesen, bis schließlich ein großes Leck entsteht. Dieses Szenario entspricht dem Ereignis von Fukushima 2011, nur wird hier angenommen, dass auch die Wanne erodiert wird, was in Fukushima nicht der Fall war.

Die erste Freisetzung an die Umgebung wird durch den Druckanstieg ausgelöst, den die Schmelze verursacht. Beim Absinken der Schmelze werden alle Brennstäbe zerstört und es werden wesentlich mehr Spaltprodukte freigesetzt. Die Freisetzung erfolgt zunächst über Undichtheiten des Containments, danach durch die Beton-Schmelze-Wechselwirkung und das Durchschmelzen der Auffangwanne.

Die Ergebnisse dieser Vorgänge sind in Abbildung 2 dargestellt, wobei einige Nuklide exemplarisch herausgegriffen wurden: ^{133}Xe als Vertreter der Edelgase, einige biologisch wichtige Isotope und ^{241}Am als Vertreter der Actiniden. Der zeitliche Nullpunkt wird auf den Zeitpunkt des Beginns des Reaktorunfalls gelegt.

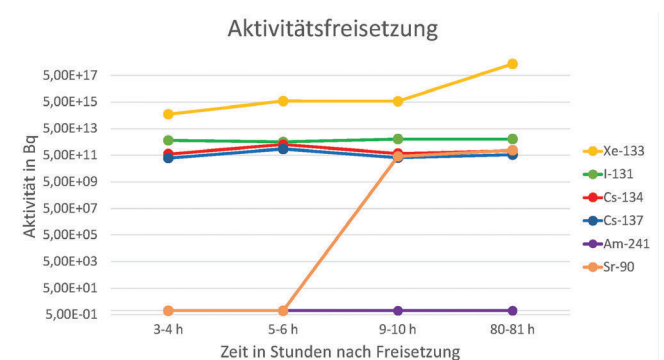


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der freigesetzten Aktivität exemplarisch gewählter Nuklide bei einem größtmöglichen Unfall eines WWER-1000 Reaktors mit Mischkern. Daten: [4]

2.4 Kernwaffenunfall ohne Detonation

Ein völlig anderes Bild einer Kontamination stellt sich bei einem Unfall mit einer Kernwaffe dar, bei der es zu keiner Detonation der Waffe, aber zu einer Beschädigung der Hülle des spaltbaren Materials kommt. In diesem Fall werden keine Spaltprodukte gebildet, die hohe Aktivitäten aufweisen und auf Grund der ausgesandten Gammastrahlung eine erhebliche Dosisleistung durch externe Strahlung verursachen können. Es gibt daher weder eine wesentliche Direktstrahlung von der Kernwaffe noch eine großräumige Kontamination mit gammastrahlenden Radionukliden, die zu einer Belastung durch äußere Strahlung führen könnten, wie sie bei detonierenden Kernwaffen oder einem Reaktorunfall gegeben ist.

Das spaltbare Material einer Kernwaffe besteht jedoch aus hochangereichertem Uran oder Transuranen (Plutonium, Curium, etc.). Diese sind generell Alphastrahler, die eine hohe Radiotoxizität aufweisen. Sie liegen jedoch in der Regel in fester Form vor, sodass sie auch bei einem Unfall, bei dem die Hülle der Kernwaffe beschädigt wird, üblicherweise kaum in nennenswerter Menge freigesetzt werden. Ist der Unfall jedoch mit einem Brand verbunden, so kann ein erheblicher Teil des spaltbaren Materials aerosolförmig freigesetzt werden. In dieser Form können die freigesetzten Nuklide zu erheblichen Belastungen durch Inhalation und in der Folge auch durch Ingestion führen.

Als Faustregel gilt, dass die Aufnahme von 1 Bq eines Radionuklids jeweils bei Inhalation um etwa das 10.000-fache gefährlicher als bei Ingestion. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass es sich bei diesen Radionukliden zumeist um chemisch relativ unlösliche Nuklide handelt, sodass eine Aufnahme in die Lunge zu einer Deposition in der Lunge und einer Langzeitexposition führen, während eine Aufnahme in den Magen-Darm-Trakt zu einer weitgehenden Ausscheidung und damit wesentlich niedrigeren Dosis führt.

Die wesentliche Belastung ist daher gegeben, solange die radioaktiven Partikel in der Luft schwebend vorliegen. Nach der Ablagerung ist das Gefährdungspotential wesentlich geringer. Solange die Partikel luftgetragen sind, besteht allerdings ein Gefährdungsmoment im Wesentlichen auch nur dann, wenn der Partikeldurchmesser kleiner als $10\ \mu\text{m}$ ist und damit in die Lunge inhaliert werden kann. Dies ist nur bei einem Feuer vorstellbar. In einem solchen Fall kann es neben der Produktion von inhalierbarem Aerosol auch zu einer größeren Ausbreitung der radioaktiven Partikeln kommen. Bei einem Absturz eines kernwaffentragenden US-Flugzeuges in Palomares, Spanien, wurde eine Fläche von etwa $30\ \text{km}^2$ durch Plutonium kontaminiert [5]. Bei einem Fahrzeugzusammenstoß am Boden dürfte die Fläche wahrscheinlich erheblich kleiner sein. Dies ist jedoch in Österreich aufgrund des Verbotes der Stationierung von Kernwaffen auf österreichischem Territorium kaum zu erwarten, ist jedoch bei Auslandseinsätzen des Bundesheers nicht völlig auszuschließen.

Durch die Ablagerung der Partikeln auf dem Boden und auf Pflanzen werden die Pflanzen und der Boden kontaminiert. Wegen der weitgehenden Unlöslichkeit kommt es allerdings nur zur einer Oberflächenkontamination der Pflanzen, ein weiterer Transfer in Nahrungsmittel wie Milch und Fleisch ist nicht gegeben. Die Oberflächenkontamination auf den Pflanzen ist relativ leicht abwaschbar. Die Kontamination im Boden wird schnell sehr gut gebunden, sodass ein weiterer Transfer sehr unwahrscheinlich ist. Nur in sehr trockenen Gebieten kann die Resuspension von Bodenpartikeln zu einer relevanten Dosis führen. Eine Ermittlung des kontaminierten Gebietes und eine eventuelle Dekontamination sind daher erforderlich.

2.5 Die Ausbreitung von Radionukliden

Nachdem wir jetzt wissen, welche Radionuklide in welchem Ausmaß freigesetzt werden können, müssen wir uns anschauen, wie wir frühzeitig abschätzen können, ob und in welchem Ausmaß Österreich betroffen sein wird.

Hierfür wird heute Simulationssoftware benutzt. Diese Simulationsprogramme beruhen auf Lagrangeschen Ausbreitungsmodellen. Dabei wird die Berechnung mehrerer tausend repräsentativer Trajektorien punktförmiger Teilchen in einem dreidimensionalen Windfeld durchgeführt. Wird befürchtet, dass es zur Freisetzung radioaktiver Stoffe kommen könnte, führt die Abteilung Strahlenschutz des BMK sofort

Berechnungen durch. Mithilfe von aktuellen Wetterprognosen der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) und Modellrechnungen versucht man zu prognostizieren, ob die Luftmassen nach Österreich verfrachtet werden, wann sie die österreichische Grenze erreichen und welche Konzentrationsverteilung radioaktiver Stoffe zu erwarten wäre. Abbildung 3 zeigt beispielhaft eine solche Simulation, allerdings mit einer anderen Simulationssoftware als sie von den offiziellen Stellen Österreichs verwendet wird, und dient lediglich der Veranschaulichung des Prinzips.

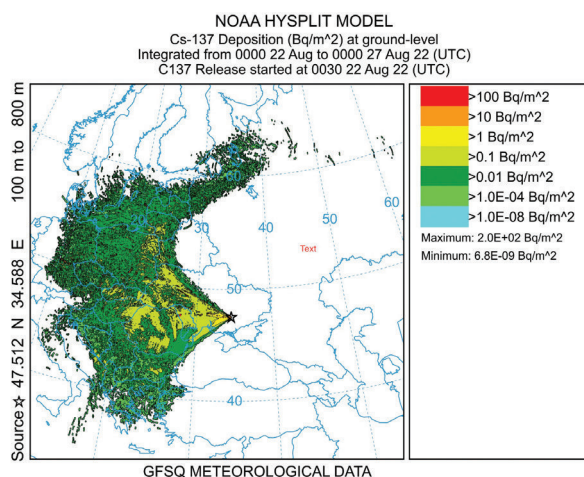


Abbildung 3: Simulation einer möglichen Freisetzung und nachfolgender Deposition von Cs-137 aus dem Kernkraftwerk Saporishshia, 120 h nach einem angenommenen Unfall. Verwendete Software: Hysplit. Quelle: [4]

Jede Prognoserechnung ist immer mit Unsicherheiten verbunden. Folgende Faktoren, die zu Beginn oft nur grob abgeschätzt werden können, tragen dazu bei: angenommene Menge an freigesetzten radioaktiven Stoffen, Zeitpunkt der Freisetzung und Abweichung der tatsächlichen Wettersituation von den Wetterprognosen. Auf Basis weiterer Informationen, die in späteren Phasen eines Notfalles sukzessive verfügbar sind, können die Prognosen laufend verfeinert werden. Wesentlich ist allerdings, dass durch die Verwendung solcher Simulationsprogramme und die Kenntnis der möglichen Szenarien und Quellen wertvolle Zeit gewonnen wird. Dadurch kann die Bevölkerung rechtzeitig alarmiert und über ein öffentlich-rechtliches Medienunternehmen, wie den Österreichischen Rundfunk (ORF) informiert werden. So können bereits vor Eintreffen von radioaktiv kontaminierten Luftmassen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vorbereitet und gesetzt werden. Je früher diese eingeleitet werden, umso besser gelingt der Schutz der Bevölkerung.

3. Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung

In Österreich wird im Falle eines Notfalls das Einsatz- und Krisencenter (EKC) des Bundesministeriums für Inneres (BMI), welches einen 24-Stunden-Dienst eingerichtet hat, alarmiert. Das EKC als Informationsdrehscheibe alarmiert umgehend

die Abteilung für Strahlenschutz des BMK, die auch außerhalb der Dienstzeit jederzeit erreichbar ist.

3.1 Erste Abschätzung der Lage und erste Schutzmaßnahmen

Die Abteilung für Strahlenschutz führt anhand der vorliegenden Informationen aus dem Unfallland eine Erstbewertung der Lage und erste Abschätzungen möglicher Auswirkungen auf Österreich durch. Basierend auf den Informationen der Nachbarstaaten kann im Falle einer Freisetzung mit Hilfe verschiedener Notfallsysteme abgeschätzt werden, wohin die radioaktiven Luftmassen verfrachtet werden und welche Gebiete wie stark betroffen sein könnten. Nach dieser ersten Bewertung wird, wenn notwendig, vom Bundesministerium unter Mitwirkung des Gesundheitsministeriums entschieden, welche ersten Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung notwendig sind. Die vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen werden umgehend über das EKC an die zuständigen Bundes- und Landesbehörden weitergeleitet, um ihre Durchführung einzuleiten. Zugleich findet parallel die erste Alarmierung und Information der Bevölkerung über die Medien statt.

Kann eine Auswirkung auf Österreich ausgeschlossen werden, sind keine Schutzmaßnahmen notwendig. Natürlich wird die Lage weiterhin aufs Genaueste verfolgt und die Bevölkerung über die Lage informiert. Sollten andere Staaten betroffen sein, werden vom Außenministerium Informationen für die österreichische Bevölkerung im Unfallland, sowie Reiseempfehlungen ins Internet gestellt. Sollte es in Österreich selbst zu einem radiologischen Ereignis kommen, zum Beispiel durch einen Transportunfall mit radiologischen Quellen, wird die Abteilung für Strahlenschutz im Bundesministerium durch die Bezirksverwaltungsbehörden beziehungsweise die Landeswarnzentralen umgehend alarmiert.

Falls eine Station des österreichischen Strahlenfrühwarnsystems radioaktive Stoffe in der Luft misst, wird die Abteilung für Strahlenschutz automatisch alarmiert, die Landeswarnzentralen sowie das Einsatz- und Krisencenter des Bundesministeriums für Inneres wird sofort informiert.

3.2 Regelmäßige Neuabschätzung der Lage und Schutzmaßnahmen für die Bevölkerung

Sollte die erste Bewertung ergeben, dass Auswirkungen auf Österreich nicht ausgeschlossen werden können, wird die Lage regelmäßig bewertet und Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung getroffen. Den Behörden stehen somit genügend Informationen zur Verfügung, um schon vor Eintreffen der radioaktiven Wolke das Ausmaß der Betroffenheit abschätzen zu können. Notwendige Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung können daher frühzeitig getroffen und vorbereitet werden.

Folgende Informationen stehen den österreichischen Behörden zur Verfügung: Das Unfallland ist verpflichtet, die anderen Staaten, so auch Österreich, fortlaufend über die Entwicklung des Notfalls zu informieren, zum Beispiel über die Menge der freigesetzten radioaktiven Stoffe und die gesetzten Maßnahmen. Die Messdaten aus den ausländischen Strahlenfrühwarnsystemen sind online in Echtzeit verfügbar. Bei einer Freisetzung käme es zu einer Erhöhung der Messwerte. Einige der Stationen liefern auch Informationen über Art und Menge der freigesetzten Radionuklide.

Basierend auf den immer wieder aktualisierten Informationen des Unfalllandes und den ersten Messwerten der ausländischen Strahlenfrühwarnsysteme können mithilfe der Prognose- und Entscheidungshilfesysteme verbesserte Prognosen über die Auswirkungen der radioaktiven Freisetzung erstellt werden. Basierend auf der Abschätzung der möglichen radioaktiven Kontamination Österreichs und der daraus resultierenden Strahlenbelastung für die österreichische Bevölkerung wird das BMK unter Mitwirkung des Gesundheitsministeriums Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung festlegen.

Die Schutzmaßnahmen werden unmittelbar über die Informationsdrehscheibe EKC an die Landeswarnzentralen und somit an die Bundesländer weitergeleitet. Die Länder sind zuständig für die Umsetzung der vom Bund festgelegten Schutzmaßnahmen. Zusätzlich unterstützt das staatliche Krisen- und Katastrophenmanagement (SKKM) im BMI die Umsetzung der Schutzmaßnahmen und koordiniert die Vorgehensweise. Im EKC sind alle zuständigen Ministerien sowie die Bundesländer vertreten. Die enge Zusammenarbeit mit den Medien soll die rasche, fortlaufende und ausführliche Informationsweitergabe an die Bevölkerung über die Lage und die durchzuführenden Schutzmaßnahmen gewährleisten. Die durchgeführten Maßnahmen werden fortlaufend bewertet und angepasst. Falls kontaminierte Luftmassen Österreich erreichen, liefern das österreichische Strahlenfrühwarnsystem und Messungen vor Ort Informationen für eine gute Abschätzung der regionalen Situation.

3.3 Alarmierung der Bevölkerung

Damit die Informationen im Anlassfall rasch und regelmäßig an die Öffentlichkeit gelangen, werden die Medien (ORF und APA) eng in das Krisenmanagement eingebunden. Die Information der Bevölkerung erfolgt in erster Linie über Fernsehen und Rundfunk. Zusätzlich wird im Bedarfsfall ein Call Center aktiviert, dessen Telefonnummern über Hörfunk und Fernsehen bekanntgegeben werden. Bei schweren grenznahen KKW-Unfällen steht in Österreich ein flächendeckendes Warn- und Alarmsystem zur Verfügung, das vom Innenministerium betrieben wird. Die Auslösung der Sirensignale kann je nach Gefahrensituation zentral vom EKC des BMI, von den Landeswarnzentralen der Bundesländer oder den Bezirkswarnzentralen erfolgen.

3.4 Schutzmaßnahmen

Die Zeit zwischen Alarmierung der Behörden in Österreich und dem Eintreffen der radioaktiven Luftmassen in Österreich wird als Vorwarnzeit bezeichnet. In Österreich ist von einer Vorwarnzeit von mehreren Stunden bis Tagen auszugehen. Dies hängt mit der Zeit zusammen, die die Luftmassen benötigen, um die Strecke bis Österreich zurückzulegen, aber auch mit dem Unfallablauf selbst. Im Falle des Reaktorunfalls in Fukushima 2011 kam es trotz der massiven Zerstörungen durch Erdbeben und Tsunami erst nach etwa 24 Stunden zu einer größeren Freisetzung radioaktiver Stoffe. Wichtige Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung können in dieser Vorwarnzeit vorbereitet, rechtzeitig ergriffen und an die Bevölkerung kommuniziert werden

Die Schutzmaßnahmen sind in Österreich so ausgelegt, dass im Zweifelsfall eher umfassendere Maßnahmen ergriffen werden, um einen umfangreichen Schutz der Bevölkerung zu gewährleisten. Zu solchen Schutzmaßnahmen gehören z. B. das Aufsuchen und Verbleiben in geschlossenen Gebäuden für eine kurze Zeit, die Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten zum Schutz vor Schilddrüsenkrebs oder Beschränkungen der Nutzung und des Verkaufs landwirtschaftlicher Erzeugnisse, die möglicherweise radioaktiv belastet sind. Evakuierungen sind in Österreich aufgrund der Entfernung der umgebenden Kernkraftwerke nicht zu erwarten. Kinder und Jugendliche reagieren empfindlicher als Erwachsene auf Strahlung. Daher werden Kinder und Jugendliche in Österreich besonders geschützt. Um die ungeborenen Kinder zu schützen, unterliegen auch Schwangere einem besonderen Schutz. Die Behörden setzen Schutzmaßnahmen für diese Personengruppen bereits bei geringerer Strahlenbelastung als für den Rest der Bevölkerung. Welche Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind, wird von den Behörden über den ORF (Radio und Fernsehen) verlautbart. Grundlage für den persönlichen Schutz ist es, sich stets über diese, von den Behörden festgelegten, Schutzmaßnahmen informiert zu halten.

Jede Person kann zusätzlich zu den von den Behörden verlautbarten Schutzmaßnahmen folgende Verhaltensregeln nach Eintreffen der radioaktiv kontaminierten Luftmassen befolgen:

- Aufenthalt im Freien während des Durchzugs der radioaktiv kontaminierten Luftmassen vermeiden bzw. kurzhalten.
- Bei notwendigem Aufenthalt im Freien leicht zu reinigende Kleidung (z. B. Regenmantel) tragen, um die Haut vor Kontamination mit radioaktiven Stoffen zu schützen.
- Einfache Hygienemaßnahmen wie Duschen und Haare waschen nach einem Aufenthalt im Freien.
- Kleidungsstücke und Schuhe, die im Freien getragen wurden, vor Betreten des Wohnbereichs wechseln. Die Kleidungsstücke können in der Waschmaschine gereinigt werden.
- Haustiere nach einem Aufenthalt im Freien reinigen.

- In den betroffenen Gebieten auf den Konsum von Freilandgemüse und frischem Obst aus dem Garten bzw. Beeren und Pilzen aus dem Wald zunächst verzichten. Die Behörden werden im weiteren Verlauf Empfehlungen für den Umgang mit diesen Lebensmitteln bekannt geben.
- Saugen und Reinigen der Wohnung nach Abzug der radioaktiven Luftmassen.

Spätere Schutzmaßnahmen werden nach Durchzug der radioaktiv kontaminierten Luftmassen gesetzt. Ziel ist es, die längerfristige Strahlenbelastung möglichst zu reduzieren. Spätere Schutzmaßnahmen sind z. B. das Reinigen von Gebäuden, Straßen und Plätzen oder das Reinigen von Kinderspielplätzen. Dies wird in der Fachsprache auch als „Dekontamination“ bezeichnet. Besonders wichtige spätere Schutzmaßnahmen sind die, die sicherstellen, dass nur nicht-kontaminierte Lebensmittel konsumiert werden. Dazu zählt das Verbot von kontaminierten Lebensmitteln im Handel.

3.5 Kaliumiodidtabletten: Ja oder Nein?

Wie wir bei den Quelltermen gesehen haben, können bei schweren Unfällen in KKW's große Mengen an radioaktiven Iodisotopen, wie ^{131}I und ^{129}I freigesetzt werden. Gelangt radioaktives Iod durch Einatmen in den Körper, wird es von der Schilddrüse aufgenommen und dort gespeichert. Dadurch kann es in der Schilddrüse zu einer hohen Strahlenbelastung und vor allem bei Kindern und Jugendlichen zu einem erhöhten Schilddrüsenkrebs-Risiko kommen.

Dagegen bieten Kaliumiodid-Tabletten – wenn sie zum empfohlenen Zeitpunkt eingenommen werden – einen sehr wirkungsvollen Schutz. Das nicht-radioaktive Iodisotop dieser Tabletten führt zu einer vorübergehenden Sättigung der Schilddrüse. Dadurch wird die Ansammlung von radioaktiven Iodisotopen in der Schilddrüse verhindert. Damit dies optimal gelingt, ist der richtige Zeitpunkt für die Einnahme der Tabletten entscheidend. Die Wirksamkeit der Kaliumiodid-Tabletten ist am größten, wenn die Einnahme wenige Stunden vor Eintreffen der radioaktiv kontaminierten Luftmassen erfolgt. Eine zu frühe Einnahme oder eine Einnahme nach Eintreffen der radioaktiv kontaminierten Luftmassen verringert die Wirksamkeit stark. Die Behörden verfolgen die Lage ständig. Abhängig vom Eintreffen der radioaktiv kontaminierten Luftmassen geben sie den richtigen Zeitpunkt der Einnahme bekannt. Sollte die Schutzmaßnahme „Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten“ notwendig sein, kommt in den davon betroffenen Gebieten das Sirenenwarnsystem zum Einsatz.

Die Warnung erfolgt durch einen drei Minuten gleichbleibenden Dauerton. Die Bevölkerung ist damit aufgefordert, sich über den ORF (Radio und Fernsehen) zu informieren, in welchen Gebieten Kaliumiodid-Tabletten besorgt und deren Einnahme vorbereitet werden soll.

Ebenso über den ORF werden die Behörden rechtzeitig bekannt geben, in welchen Gebieten für welche Personengruppen eine Kaliumiodid-Einnahme nötig ist und wann der richtige Zeitpunkt dafür ist.

Über den späteren Alarm, einen eine Minute dauernden auf- und abschwellenden Heulton, wird die Bevölkerung aufgerufen, in den Gebäuden zu bleiben bzw. umgehend Gebäude aufzusuchen und die Kaliumiodid-Tabletten einzunehmen.

Kaliumiodid-Tabletten bieten keinen Schutz vor der Aufnahme anderer radioaktiver Stoffe in den Körper oder gegen die externe Strahlung von radioaktiven Stoffen in der Luft und am Boden. Es soll auch nicht unerwähnt bleiben, dass die Tabletten zu unangenehmen bis gesundheitsschädlichen Nebenwirkungen durch die Überversorgung des Körpers mit Kalium führen können. Kaliumiodid-Tabletten sollten ausschließlich nach Anweisung der Behörden zum bekannt gegebenen Zeitpunkt und für die bekannt gegebene Dauer eingenommen werden.

Die Dosierung der Kaliumiodid-Tabletten für verschiedene Alters- bzw. Personengruppen ist dem Beipackzettel zu entnehmen:

- **unter 1 Monat:** ¼ Tablette einmalig
- **1 Monat bis 3 Jahre:** ½ Tablette täglich
(Die Behörden geben bekannt, wie lange die Tabletten einzunehmen sind.)
- **3 Jahre bis 12 Jahre:** 1 Tablette täglich
(Die Behörden geben bekannt, wie lange die Tabletten einzunehmen sind.)
- **über 12 Jahre und Erwachsene:** 2 Tabletten täglich
(Die Behörden geben bekannt, wie lange die Tabletten einzunehmen sind.)
- **Schwangere und Stillende:** 2 Tabletten einmalig

Für Kinder, Jugendliche und Schwangere sollten die Tabletten bereits vorsorglich bezogen werden. Für diese Personengruppen sind die Tabletten kostenlos erhältlich. Für Personen von 18 bis 40 Jahren können Kaliumiodid-Tabletten zu einem geringen Preis gekauft werden. Personen über 40 Jahre sollten Kaliumiodid-Tabletten nicht mehr einnehmen, da ihr Risiko, an strahlenbedingtem Schilddrüsenkrebs zu erkranken, sehr gering ist, das Risiko von Nebenwirkungen durch die Einnahme von Iod aber vergleichsweise hoch ist. In Schulen, Kindergärten und Betreuungseinrichtungen sind Kaliumiodid-Tabletten für die Kinder und Jugendlichen vorhanden, damit bei Durchzug von radioaktiven Luftmassen während der Betreuungs- bzw. Schulzeit die Tabletten rechtzeitig eingenommen werden können.

3.6 Kritische Infrastruktur und Schulen

Auch in stark betroffenen österreichischen Regionen ist sichergestellt, dass auch in der Situation eines radiologischen Großereignisses die kritische Infrastruktur wie die Energiever-

sorgung, die Kommunikation, die medizinische Versorgung, die Wasser- und Abwasserversorgung sowie die Information der Bevölkerung aufrechterhalten wird. Ebenso wird dafür gesorgt, dass wichtige Dienste wie Feuerwehr, Rettung und Polizei sichergestellt sind.

Wenn ein schweres radiologisches Ereignis mit erheblichen Auswirkungen auf Österreich während der Schul- oder Kindergartenzeit eintritt, ist es sehr wahrscheinlich, dass selbst bei einem grenznahen Unfall genügend Zeit bis zum Eintreffen radioaktiver Luftmassen besteht, um die Kinder und Jugendlichen nach dem regulären Unterrichts- oder Kindergartenschluss zu entlassen. Sie können normal abgeholt werden oder ihren Heimweg selbst antreten. Zusätzlich sehen die Planungen vor, nach der Entlassung der Kinder und Jugendlichen einen Notbetrieb in diesen Einrichtungen aufrechtzuerhalten. Zu Hause sind entsprechend der Verlautbarung der Behörden über den ORF (Radio und Fernsehen) Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Sollte der unwahrscheinliche Fall eintreten, dass zu wenig Zeit bleibt, um vor Eintreffen radioaktiv kontaminierter Luftmassen sicher nach Hause zu kommen, sind Kindergärten, Schulen oder andere Betreuungseinrichtungen der sicherste Ort. Kinder und Jugendliche befinden sich bereits in schützenden Gebäuden und erhalten dort, falls notwendig, eine Tagesdosis Kaliumiodid-Tabletten. Voraussetzung für die Ausgabe der Kaliumiodid-Tabletten an Schulkinder ist eine im Voraus unterschriebene Einverständniserklärung, die in der Schule, beziehungsweise im Kindergarten oder anderen Betreuungseinrichtungen, aufliegt.

3.7 Aufhebung der Maßnahmen

Sobald Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit nicht mehr notwendig sind, werden sie aufgehoben.

So wird nach dem Durchzug der radioaktiv kontaminierten Luftmassen die Schutzmaßnahme „Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten“ durch die Behörden aufgehoben. Die erneute Einnahme ist nicht notwendig, da kein radioaktives Iod mehr in der Luft vorhanden ist. Eine übertriebene oder zu lange Anwendung von Schutzmaßnahmen wie die zu lange Einnahme von Kaliumiodid-Tabletten, kann mehr schaden als nützen. Auch die Maßnahme „Aufenthalt in Gebäuden“ ist nach dem Durchzug der radioaktiv kontaminierten Luftmassen nicht mehr notwendig und wird daher beendet. Die Aufhebung einer Schutzmaßnahme wird über den ORF (Radio und Fernsehen) kommuniziert. Nach dem Durchzug der radioaktiv kontaminierten Luftmassen wird mit einem eine Minute dauernden gleichbleibenden Dauerton des Sirenenwarnsystems entwarnt. Weitere Informationen über Fortführung oder Beendigung von Schutzmaßnahmen werden ebenfalls über den ORF kommuniziert.

Wichtige Informationen sollen auch an die Nachbar*innen weitergegeben werden.

4. Epilog

Die Matura haben wir bestanden.

Der Weltempfänger funktioniert immer noch.

Und Bruce Springsteen geht nächstes Jahr endlich wieder auf Tour.

Literatur

- [1] Strahlenschutz-Aspekte bei natürlicher Radioaktivität. in 38. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz. 2006. Dresden: Fachverband für Strahlenschutz.
- [2] NÖ Zivilschutzverband. Radioaktivität. Kernspaltung. Fachausdrücke. 2022. Online verfügbar auf noezsv.at. [abgerufen am 08.10.2022]

Danksagung

Danke an Konrad Lotter für die Erstellung der Beispielsimulation!

Rudolf Engelbrecht AGES, Österreichische Agentur
für Gesundheit und Ernährungssicherheit

Marianne Korner Universität Wien, Fakultät für Physik

- [3] Als Inventar bezeichnet man die Summe aller Nuklide, die in einem Reaktorkern vorhanden sind
- [4] AGES (Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit). 2022. Online verfügbar auf <https://www.ages.at> [abgerufen am 2022.08.10.]
- [5] Mian et al., Plutonium dispersal and health hazards from nuclear weapon accidents. Current Science, 2001, 80 (10)

Rezension zum Buch Unsicherheiten, aber sicher!

Vom kompetenten Umgang mit ungenauen Daten.

Burkhard Priemer (2022). Springer, Berlin.

Clemens Nagel

Burkhard Priemer, Physikdidaktiker an der Humboldt Universität Berlin, hat mit diesem populärwissenschaftlichen Buch einen kurzweiligen und niederschweligen Einstieg in die Welt der Daten und ihrer Qualität geschaffen. Auf 186 Seiten eröffnet uns der Autor nicht nur eindrucksvoll, wo überall in unserem Alltag wir ganz selbstverständlich und intuitiv Wege gefunden haben, mit nicht ganz sicheren Angaben, Toleranzen, Grenzwerten und Unsicherheiten umzugehen. Er schlägt hier auf lockere und nahezu formelfreie Weise eine erklärende Brücke zum wissenschaftlichen Umgang mit Daten und der Notwendigkeit, bei diesen eine Angabe der Güte mit dabei zu haben. Jeder, der sich in seinem eigenen Studium „die Fehlerfortpflanzungsrechnung“ als lästiges Übel in Erinnerung behalten hat, wird von dem Meer an alltagsweltlichen, interdisziplinären und wissenschaftsgeschichtlichen Fallbeispielen im positiven Sinne überwältigt sein. Auf einmal stellt sich die Auseinandersetzung mit der Qualität von Daten als selbstverständlichstes Tun überhaupt heraus.

Das Büchlein liest sich leicht und flüssig, gliedert sich in 10 Kapitel, zuzüglich Vorwort und Stichwortverzeichnis. „Graue Kästchen“ mit Merksätzen und kurzen Erklärungen fassen am Ende jedes Kapitels die grundlegenden Key Ideas zusammen. „Themen-Boxen“ in den Kapiteln, die eine kurze fachliche Klärung von Spezialthemen beinhalten, können sehr gut für die methodische Ausgestaltung von Unterricht herangezogen werden (z. B. als Grundlage für Gruppe-Diskussionen etc.). Literaturzitate (auch Internetseiten) werden als Fußnoten ausgeführt, was eine rasche Auffassung der Quellen durch

den/die Leser*in ermöglicht. Passende Anekdoten aus dem eigenen Leben des Autors sind kursiv gedruckt.

In den Kapiteln 1-4 bringt uns Priemer im Wesentlichen näher, dass wir alle schon einen etablierten Alltagsumgang mit Daten und der Tatsache, dass diese nicht 100% genau sein können, besitzen. Die fachliche Klärung des Themas ist somit sehr ansprechend mit der Lebensrealität vermischt (z. B. wird der Unterschied zwischen absoluter und relativer Unsicherheit in das Beispiel einer Längenmessung mit dem Tachometer eingebaut). Bezüge zu Beispielen aus der Geschichte „Wer zu spät kommt, den bestraft das Leben“, aktueller gesellschaftlicher Herausforderungen z. B. implizite Unsicherheit aus der Angabe der Staatsverschuldung Deutschlands herauslesen, oder die Berechnung einer 7-Tage Inzidenz in der Corona Pandemie oder die Häufigkeit des Auftretens von Nebenwirkungen bei einem Medikament, lockern den Lesefluss auf. Die Anzahl der Menschen auf der Erde wird als Beispiel für die Unsicherheit bei Prognosen gebracht. Ein literarisch eleganter Spaziergang durch die Größenordnungen von Billionen Euro Staatsverschuldung bis hin zu Microgramm NO_x pro Kubikmeter Luft rundet den lehrreichen Einführungsteil ab.

Begriffsdefinitionen werden von Priemer nach den Vorgaben des Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) aber auch nach dem internationalen Wörterbuch der Metrologie (VIM) eingeführt. So definiert der Autor z. B. die Richtigkeit und die Präzision aber auch die „Genauigkeit“ als summative Variablen-Bezeichnung beider. Er bringt parallel

dazu die GUM-Nomenklatur mit „Messunsicherheit“ ohne aber die darin vorkommende Typ-A und Typ-B Bezeichnung derselben oder der Beziehung der beiden zu Präzision und Richtigkeit als solche zu nennen. „Messabweichung“ wird ebenfalls eingeführt, ohne diesen Begriff als „systematischen Fehler“ im engeren Sinn zu bezeichnen. Konkreterweise wird das Konzept des „Fehlers“ von „Unsicherheiten“ abgegrenzt. Ich persönlich finde, es werden ein wenig zu viel Begrifflichkeiten auf einmal für den interessierten Laien verwendet. Diese Vielzahl, die auch „Genauigkeit und Ungenauigkeit“ sowie weitere alltagsweltliche Begriffe mit einschließt, ohne einen klaren starren Nomenklaturrahmen an den Anfang zu stellen, kann den/die unerfahrene*n Leser*in durchaus etwas überfordern bzw. am Ende des Buches dazu führen, dass die Begrifflichkeiten erst recht nicht normkonform, sondern weiter nach Gefühl verwendet werden.

Bei der impliziten Unsicherheit einer Angabe wählt Priemer den Weg, diese als ± 1 Einheit der letzten signifikanten Stelle anzunehmen. Hier lässt sich streiten, ob im Sinne der Digitalisierungs- oder Skalenunsicherheit, die in ihrem Wesen eine Rundungsunsicherheit ist, nicht eher $\pm 0,5$ Einheiten der konzisere Weg wäre.

Priemer geht in Kapitel 5 unter anderem auf das intuitive Erkennen von Qualität in Datensätzen und auf die verschiedenen Interpretationsmöglichkeiten von Daten ein. Beispielhaft wird gezeigt wo aber die individuelle Grenze liegen kann, die Vertrauenswürdigkeit von Daten richtig einzuschätzen und wie man Daten z. B. über verschiedene Arten der Darstellung missbräuchlich dazu verwenden kann, einen völlig falschen oder sehr einseitigen Eindruck zu erwecken. Lernenden diese Tatsache bewusst zu machen, ist ein wertvoller Beitrag in der Erziehung der Lernenden zu mündigen Bürger*innen. Priemer macht sich hier für die Mengenvorstellung von Messergebnissen stark, die einen Messergebnis nicht als einzelnen Datenpunkt sondern als Datenbereich rund um diesen versteht. Zuletzt diskutiert der Autor in diesem Kapitel 5 anhand der Äquatorlänge der Erde und der Körpergröße eines Menschen, dass die Existenz eines wahren Wertes sowohl praktisch als auch theoretisch für die wissenschaftlichen Fragestellung im Grunde irrelevant ist. Dies ist auch der Grund warum der Begriff des wahren Wertes aus der Metrologie und auch aus dem GUM verschwunden ist.

In Kapitel 6 befasst sich der Autor – immer wieder gespickt mit Beispielen aus unserem Alltag und der Natur (z. B. beim Verifizieren der allgemeinen Relativitätstheorie durch Lichtablenkung von Sternenlicht durch die Sonnenmasse, messbar bei Sonnenfinsternissen) – mit der unumstößlichen Notwendigkeit einer Angabe von Unsicherheit bei Messungen. Klarerweise ist die Begründung dafür die notwendige Vergleichbarkeit von Messergebnissen. Der Autor zeigt auf, dass große Unsicherheiten und nicht ausreichende Daten in der Wissenschaft zu Fehlschlüssen führen können oder Fragen unbeantwortet lassen. Er führt ferner aus, dass auch die Erhebung von wissenschaftlichen

Daten nicht frei von Fehlern oder Ungereimtheiten sein können und zeigt Methoden auf, wie man hier Interpretationsfehlern methodisch auf die Schliche kommen kann.

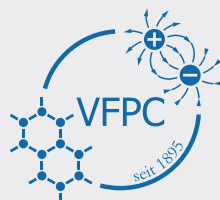
In Kapitel 7 stellt Burkhard Priemer schließlich vor, wie Unsicherheiten aus Streumaßen von Datensätzen bestimmt werden können (Spannweite, Standardabweichung und Standardabweichung des Mittelwertes). Ebenso werden die drei Haupttypen (Ursachen) der Messunsicherheit von Messgeräten vorgestellt.

In Kapitel 8 führt der Autor mit der Verträglichkeit von Ergebnissen ein einfaches sprachliches Konzept zur Erklärung ein, wie mit Hilfe der Konfidenzintervalle abgeschätzt werden kann, ob zwei Messergebnisse aus derselben Grundgesamtheit stammen oder nicht (unterschiedlich sind oder nicht). Und er erklärt, wie dann die Irrtums-Wahrscheinlichkeit solch einer Annahme entsteht.

In Kapitel 9 (mit dem heiteren Titel „Unsicherheiten sind fruchtbar und pflanzen sich fort“) wird schlussendlich auch die zusammengesetzte Unsicherheit indirekt bestimmbarer Messgrößen thematisiert. Anhand von Schallgeschwindigkeitsmessung (Weg pro Zeit), Restmengen an Nussnougatcreme im Glas, Hustentropfen-Tagesdosis und Mietpreisspiegeln werden die einfachen Regeln zur Bestimmung der maximalen zusammengesetzten Unsicherheit bei Addition, Subtraktion, Multiplikation und Division von Messgrößen ohne Formeln zu verwenden(!), vorgestellt. Gleichzeitig wird bei dem Beispiel mit der Hustentropfen-Tagesdosis angedeutet, dass man in der Regel nicht davon ausgehen kann, dass bei jeder Messung die zufällige Abweichung vom Sollwert in dieselbe Richtung wirkt, somit die wissenschaftlich richtige Berechnungsmethode zu kleineren Unsicherheiten führen würde, als die hier vorgestellte Methode.

Im Kapitel 10 endet der Autor in einem sehr persönlichen Finale beginnend mit Chill-Feel-Temperaturen am Matterhorn-Gipfel in einer Wiederholung aller vorgestellten Prinzipien und Abschätzmethoden anhand des Beispiels der Lichtverschmutzung des Nachthimmels.

Natürlich könnte der Inhalt dieses Buches noch ein wenig übersichtlicher zusammengeschnürt sein und wie bereits erwähnt, eine stringendere Begriffsverwendung aufweisen, aber wäre es dann noch so ein Leseschmaus? Oder doch schon der Beginn eines Lehrbuchs? Ich denke, der Autor hat mit diesem Werk ein leicht und flüssig lesbares Hohelied für die allumfassende Existenz, den intuitiven wie wissenschaftlichen Umgang mit und die absolute Notwendigkeit der Verwendung von Unsicherheiten bei Messungen, Datenerhebungen Dateninterpretationen und sogar in der Modellbildung geschaffen, das jeder Mensch, der Interesse an Wissenschaft im allgemeinen hat, gerne lesen wird.



Neues aus dem Verein

Nobelpreis für Anton Zeilinger

Der Nobelpreis 2022 für Physik wird an John Clauser, Alain Aspect und Anton Zeilinger verliehen. Ausgezeichnet wurden ihre Pionierarbeiten in der Quanteninformation, ihre Experimente mit verschränkten Photonen und der Nachweis der Verletzung der Bell'schen Ungleichungen.



Bild: Nobelpreisträger Anton Zeilinger
© Der Knopfdrücker

Wir gratulieren den Preisträgern. Einige von uns hatten ja das Privileg, Physik-Vorlesungen bei Prof. Zeilinger zu besuchen. Und immer wieder gibt es begeisterte Berichte darüber.

Ausführlichere Informationen zu physikalischen Hintergründen finden Sie auf [1].

Literatur:

[1] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2022/popular-information/>

Fortbildungswoche 2023

Die Anmeldung zur Fortbildungswoche 2023 ist ab dem 3.1.2023 über die Seite <https://eveno.com/PlusLucis> möglich. Der Code für die Vereinsmitglieder lautet FBW2023.

7. Werner Rentzsch-Fotowettbewerb

Der VFPC sucht erneut nach dem schönsten Foto eines im Chemie- oder Physikunterricht durchgeführten Experiments! Beiträge können bis zum 13.1.2023 eingereicht werden. Alle Informationen zum Bewerb und zum Einreichprozess finden Sie auf der Vereinshomepage.



Österreichische Post AG
SP 17Z041123 S
Verein zur Förderung des physikalischen
und chemischen Unterrichts,
Porzellangasse 4, Stiege 2, 1090 Wien
DVR 0558567
VRN 668472729